



EDICIÓN ESPECIAL 2024

Lo + leído
en su era digital

■ **Sargazo**, conociendo al "enemigo"

■ **Cráteres:** de la Luna al laboratorio

■ Develando los enigmas moleculares del **Axolotl**



Cinvestav

Edición Especial
Septiembre de 2024
ISSN 0185-1411
México

5 Premios de la Academia Mundial de Ciencias (Trieste Italia)

1 Premio Príncipe de Asturias (España)

6 Premios Miguel Alemán Valdés en Ciencias Médicas

37 Premios a la Investigación Científica de la Academia Mexicana de Ciencias

8 Miembros de El Colegio Nacional

27 Premios Nacionales de Ciencias y Artes

31 Premios Weizman a la mejor Tesis Doctoral



Cinvestav

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS

Centro de Investigación No. 1 en México*

Creado por el Gobierno Federal en 1961 como la primera institución pública mexicana que ofrece únicamente programas de posgrado e investigación. Cinvestav es financiado por la Secretaría de Educación Pública (SEP).

El presupuesto se complementa con convocatorias para fondos de investigación nacionales e internacionales, y contratos con la industria.

* Según el Laboratorio de Cibermetría, CSIC, España

Más de **17,000** personas graduadas de Maestría y Doctorado en Ciencias

Misión

Desarrollar **investigación** básica y aplicada **de frontera** y formar **recursos humanos** científicos y tecnológicos de **alto nivel**

2023
GRADOS OTORGADOS **595** Maestría **353** Doctorado **242**

2,651

Estudiantes registrados en 66 programas académicos

594

Investigadores e investigadoras de tiempo completo

100%

Programas académicos reconocidos en el Sistema Nacional de Posgrado

298

Estudiantes del Extranjero

1,181

Publicaciones

93%

Miembros del Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras

Conoce más sobre los programas de **maestría y doctorado** en ciencias que ofrece el **Cinvestav.**



Contenido

Directorio	2
Editorial	3
Aleaciones de alta entropía ¡tan simples y complejas a la vez!	8
Los colores de la biotecnología	12
Una revolución electrizante	19
Cráteres: de la Luna al laboratorio	26
Cinvestav: presencia en México	30
Chatbots: llegaron para quedarse	36
Pasaporte al aprendizaje: cursos de matemáticas en línea para bachillerato	45
El átomo que se sintió electrón	52
Arqueas, microorganismos antiguos de nuestro intestino	56
Conoce más artículos de AyP	60



4

**Eclipses totales
de Sol en México**

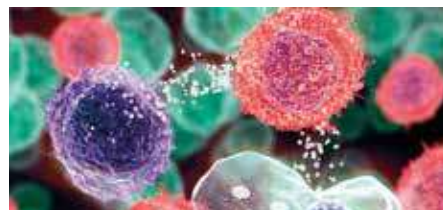


22

**Sargazo,
conociendo
al “enemigo”**

32

**Develando los
enigmas moleculares
del **Axolotl****



40

**Las células cebadas
y su papel en la
inflamación**

16

**De las antiguas
matemáticas
a la ciencia moderna**



48

**Contribuciones de la
virología a la ciencia
básica y sus beneficios**



Directorio **Cinvestav**

Alberto Sánchez Hernández
Director General

Abdel Pérez Lorenzana
Secretario Académico

Martha Espinosa Cantellano
Secretaria de Planeación

Jesús Corona Uribe
Secretario Administrativo

Ricardo Cerón Plata
Subdirector de Intercambio Académico

Víctor Juárez Lomán
Jefe del Departamento de Difusión

Revista Avance y Perspectiva

Liliana Quintanar Vera
Editora

Hiram Torres Rojo
Corrección de estilo

Karina Galache Meléndez
Arte y diseño

Agencia Idea Segura
Diseño e impresión

Consejo Editorial

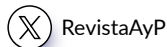
Guillermo Elizondo Azuela
Yolanda Freile Pelegrín
Francisco Alfredo García Pastor
Claudia González Espinosa
Ana Lorena Gutiérrez Escolano
Gabriel Merino Hernández
Marcos Nahmad Bensusan
Gabriela Olmedo Álvarez
Oscar Rosas-Ortiz
Moisés Santillán Zerón
Luz Manuel Santos Trigo
Patricia Talamás Rohana
Franco Bagnoli
Rosa María Herrera



Información de la artista:

Foto de portada: obra de arte de **Elena Gómez Toussaint**, quien estudió Artes Plásticas en La Esmeralda, Ciudad de México y en la Escuela Nacional Superior de Bellas Artes de París, Francia. Su obra se ha presentado en varias exposiciones en México, Francia, Bélgica, Suiza, España, Irlanda y Reino Unido. Reproducción de la imagen con autorización de la artista.
Instagram: @elenagomezoussaint
Correo: elenagtoussaint@gmail.com

<http://avanceyperspectiva.cinvestav.mx>
revista@cinvestav.mx



Avance y Perspectiva, Volumen especial impreso 2024, órgano oficial de difusión editado por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav). Av. Instituto Politécnico Nacional No. 2508, Col. San Pedro Zacatenco, Delegación Gustavo A. Madero, C.P. 07360, Ciudad de México, Tel. 5557473800, www.cinvestav.mx, revista@cinvestav.mx, Editora Responsable: Liliana Quintanar Vera, Reserva de Derechos al uso exclusivo: 04-2024-081911274500-102, Número ISSN: 0185-1411, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Cinvestav, a través de Liliana Quintanar Vera. Distribución gratuita por Cinvestav, Av. Instituto Politécnico Nacional No. 2508, Col. San Pedro Zacatenco, Delegación Gustavo A. Madero, C.P. 07360, Ciudad de México. Fecha de última modificación, 6 de septiembre de 2024. Impreso por Idea Segura, Cantera 6, Pedregal de Santo Domingo, Delegación Coyoacán, C.P. 04369, Ciudad de México. Este número se terminó de imprimir en septiembre de 2024, con un tiraje de 5,000 ejemplares.

Los contenidos de los artículos y reseñas publicados son responsabilidad exclusiva de los autores y no representan necesariamente la opinión de los editores, ni de la institución. Servicio de imágenes por archivo Cinvestav y Envato. Se autoriza la reproducción parcial o total del contenido, por cualquier medio, siempre que se cite la fuente.

Editorial

Con gran gusto y entusiasmo les presentamos el primer volumen impreso de *Avance y Perspectiva* desde su última edición en papel. La revista de divulgación científica del Cinvestav transitó del papel a lo digital en el 2018, bajo la dirección de su editor en ese momento, el Dr. Carlos Ruiz, a quien agradecemos tal circunstancia que permitió a la revista continuar entregando contenidos a sus lectores, aún en los tiempos difíciles de la pandemia causada por la COVID-19. Hoy estamos habituados a la vida en el ámbito digital, a sostener reuniones y comunicarnos a través de diversas plataformas digitales, y a que no siempre las cosas sucedan en formato físico y presencial. Sin embargo, el apego a lo material es un aspecto inherente del ser humano, y no falta quien anhele los tiempos en que se leía *Avance y Perspectiva* en papel, mientras que el salto hacia lo digital llegó para quedarse. Con este volumen impreso queremos compartir algunos de los artículos más leídos publicados por la comunidad Cinvestav en la era digital 2018-2023. La selección fue realizada por nuestro Consejo Editorial, cuidando tener un conjunto de artículos en los que se vean representadas, en la medida de lo posible, las diferentes sedes de nuestro centro y las diversas áreas de investigación que se cultivan en Cinvestav (ver mapa en páginas 30-31). Los 14 artículos seleccionados nos ofrecen un viaje fascinante desde los eclipses y los cráteres de la Luna, hasta un átomo que se sintió electrón, pasando por temas tan actuales como la biotecnología y la virología. Se incluyen temas característicos de algunas sedes, por ejemplo, los estudios moleculares del axolotl que se desarrollan en la Unidad de Genómica Avanzada, o la investigación de algas y sargazo que se realiza en la Unidad Mérida. Obviamente no es posible incluir todo el quehacer científico de Cinvestav en 60 páginas; al final sugerimos artículos que pueden leerse en nuestro portal, invitándolos a navegar entre lo digital y lo impreso en esta nueva era híbrida de *Avance y Perspectiva*. Con este volumen celebramos la relevancia y la diversidad de la labor científica que se desarrolla en Cinvestav, e invitamos a nuestros lectores a acercarse a conocer este acervo científico invaluable de nuestro país.

Liliana Quintanar Vera

Eclipses totales de Sol en México

Víctor José Sosa Villanueva

Departamento de Física Aplicada,
Unidad Mérida, Cinvestav.

¿Cuántos de los lectores de este artículo han presenciado un eclipse total de Sol? No en fotos ni en filmaciones sino en el sitio y en el momento precisos en que la Luna obstruye por completo la luz solar. Seguramente el porcentaje de personas que ha sido testigo de este acontecimiento astronómico es muy bajo, porque es visible en un punto determinado y muy esporádicamente. Para dar una idea de lo que esto significa, baste decir que el eclipse total de Sol más reciente que se pudo apreciar en nuestro país, aconteció hace más de treinta años.

¿En qué consiste un eclipse de Sol?

La palabra eclipse proviene del griego *ekleipsis* (desfallecimiento), y significa la falta, ya sea del Sol o de la Luna. Un eclipse de Sol ocurre cuando, al interponerse entre el Sol y la Tierra, la Luna proyecta una sombra que cubre una estrecha franja de la superficie terrestre, como se ilustra en la Figura 1 (franja de

ECLIPSE DE SOL

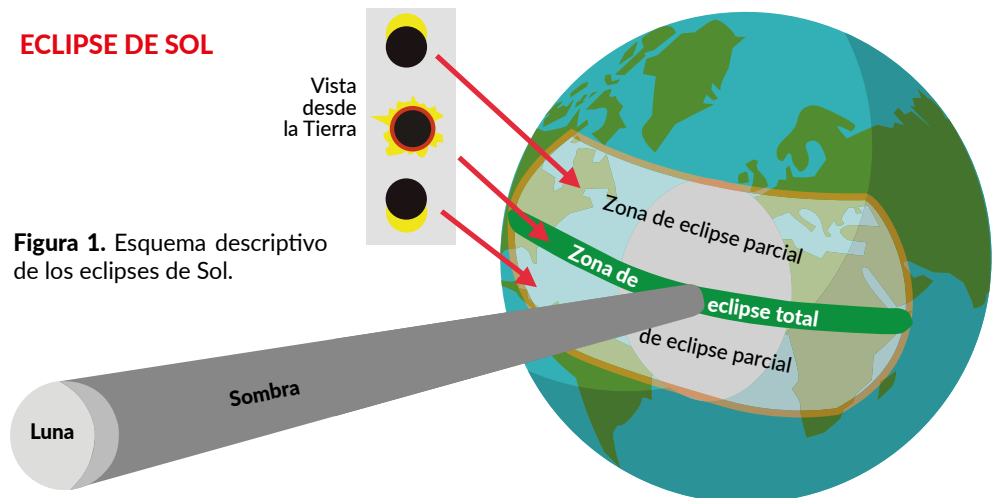


Figura 1. Esquema descriptivo de los eclipses de Sol.

color verde). La obstrucción del paso de los rayos solares ocasiona que la luz del día se convierta durante unos minutos en una sensible oscuridad.

Si el disco de la Luna tapa por completo al Sol, la sombra será completa y esta-

remos en presencia de un eclipse *total*. Además, existen franjas aledañas en donde la oscuridad no es total (Fig. 1). En esas regiones se observa un eclipse *parcial*. La oscuridad durante éste, es mayor en medida que se está más cerca de la franja del eclipse total.



Imagen: Freepik

DESDE LA TIERRA SE VE:

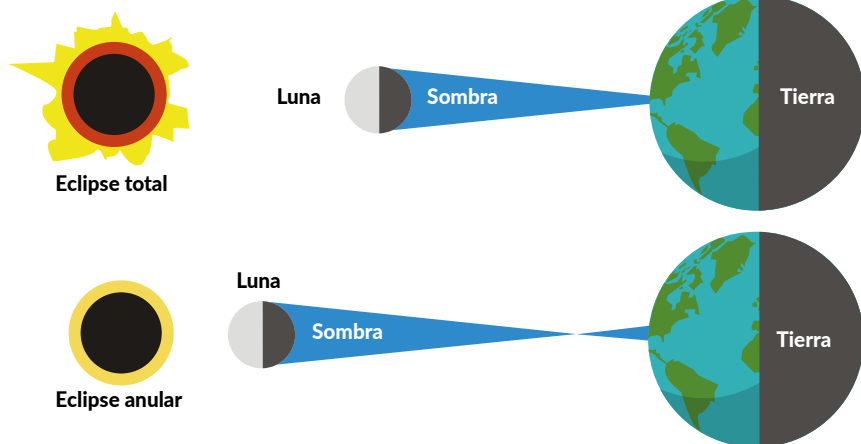


Figura 2. Zonas de la Tierra donde se observan un eclipse total y un eclipse parcial de Sol. La sombra lunar en las zonas de eclipse parcial se denomina penumbra.

En contraparte, la Tierra también llega a interponerse entre la Luna y el Sol, dando pie al oscurecimiento de nuestro satélite, lo cual constituye un eclipse de Luna. Este

fenómeno no es privativo de nuestro entorno; seguramente los eclipses ocurren también fuera del Sistema Solar cuando se conjugan los factores necesarios.

Tipos de eclipses solares

La trayectoria que sigue nuestro satélite natural alrededor de la Tierra es una elipse. Debido a ello, la Luna puede estar tan cerca como 356,000 km (se dice que está en su perigeo) o tan lejos como 406,000 km (apogeo). En consecuencia, la sombra proyectada durante un eclipse puede cambiar. En su apogeo o muy cerca de él, su superficie aparente en el cielo no es suficiente para cubrir todo el Sol, dejando un anillo de luz a su alrededor (Fig. 2); así, se dice que ocurre un eclipse anular. Si la Luna no está cerca de su apogeo, podrá tapar por completo la luz solar y se producirá un eclipse total normal. Los eclipses de Sol ocurren con cierta regularidad, entre 2 y 5 veces por año. Las zonas donde se observan son más bien estrechas (menos de 270 km), en contraparte con los eclipses de Luna, que son visibles prácticamente en la mitad de la Tierra.

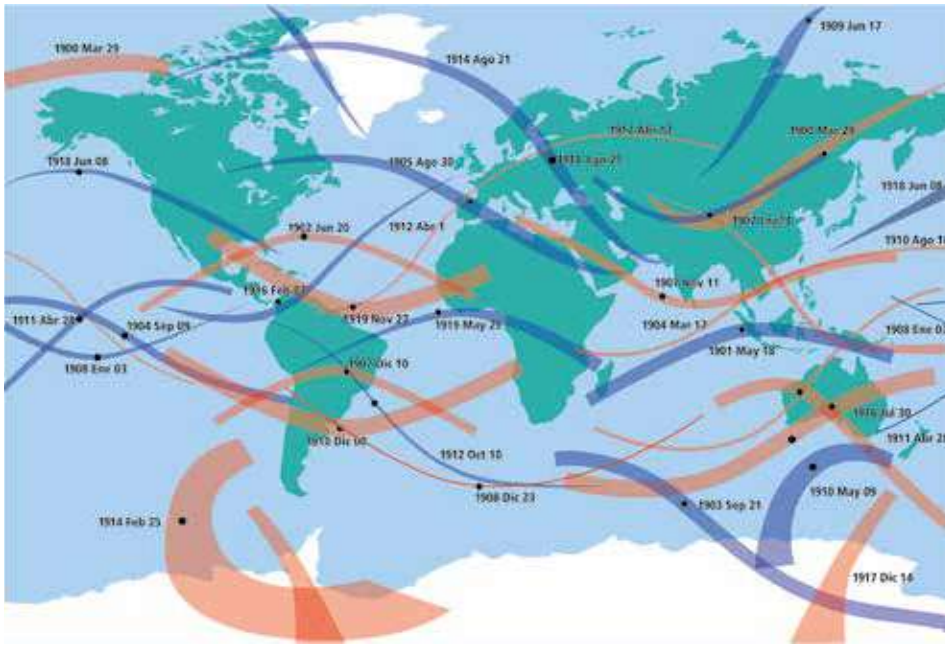


Figura 3. Zonas donde se observó un eclipse total entre los años 1901-1920. Las trayectorias de color rojo corresponden a los eclipses anulares y las azules a los eclipses totales. Los tramos ascendentes y descendentes se deben a la inclinación del eje de rotación de la Tierra [1].

¿Cada cuándo se ha podido observar un eclipse total de Sol en México? En la figura 3 se muestran las zonas de la Tierra donde fueron visibles los eclipses ocurridos entre 1901 y 1920. Como puede apreciarse, solamente en una ocasión la sombra pasó por México; ello significa que las oportunidades de presenciar un eclipse total de Sol son muy escasas. Cabe mencionar que la sombra de la Luna siempre se desplaza de Oeste a Este.

Tamaños y distancias a la Tierra de la Luna y el Sol

Un eclipse total de Sol es producto de una combinación astronómica entre nuestro Sol y la Luna. Por una parte, los diámetros de la Luna y del Sol son de 3,474.8 km

y 1,392,700 km respectivamente. Es decir, el tamaño del Sol es prácticamente 400 veces el tamaño de la Luna. Por otra parte, las distancias medias entre la Tierra y la Luna y el Sol son de 384,600 km y 150,000,000 km, respectivamente. Es decir, el Sol está 390 veces más lejos de nosotros que la Luna.

La similitud entre estas cantidades (400 y 390) conduce a que ambos astros tengan prácticamente el mismo tamaño aparente vistos desde la Tierra, y cuando la Luna se interpone entre el Sol y nosotros obstruye en su totalidad la luz solar. En mi opinión, esta es la coincidencia más sorprendente que existe en la naturaleza. En la Figura 4 podemos apreciar una extraordinaria fotografía tomada desde el espacio de la sombra de la Luna durante uno de estos fenómenos.

Eclipses solares famosos

En la historia de la humanidad se han producido eclipses de Sol especialmente notables. En la Biblia (Lucas 23, 44-45) está escrito que, al momento de morir Jesucristo, “el Sol se oscureció durante 3 horas”. Sin embargo, no figura en los anales históricos algún eclipse de Sol visible en Jerusalén en esa época. Solamente está registrado un eclipse de Luna el 3 de abril del año 33 (Jesucristo murió a los 33 años). Es difícil establecer alguna explicación de esa oscuridad basándose solamente en esta información.

En 1135, un eclipse total de Sol visible en Inglaterra coincidió con el fallecimiento del rey Enrique I, lo cual despertó temor en la población ya que había una gran conexión del pueblo con la Iglesia. Este eclipse se conoce como “el eclipse del rey Enrique”. En mayo de 1919, el físico Arthur Eddington fotografió la ubicación de las estrellas en posiciones muy



Figura 4. Fotografía de la sombra lunar durante un eclipse de Sol tomada desde la Estación Espacial Internacional.

Nasa

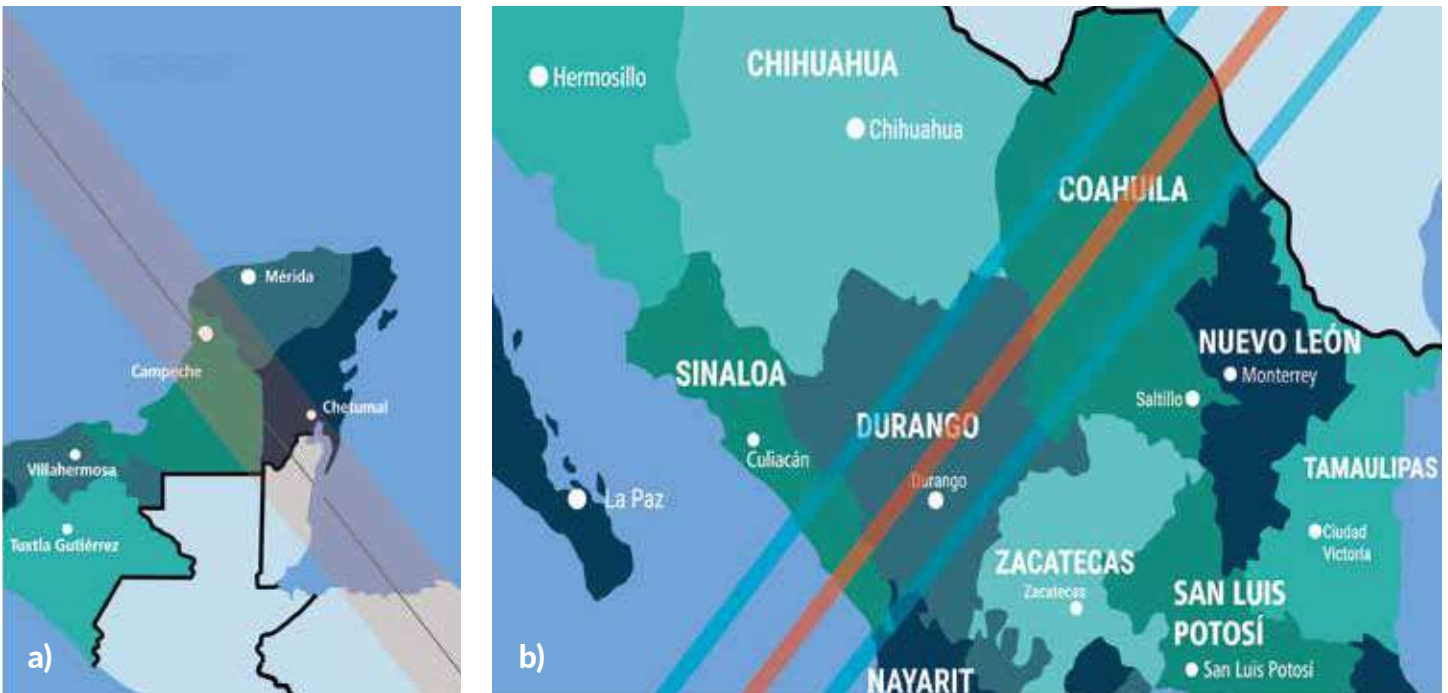


Figura 5. Trayectoria de la sombra de la Luna durante: (a) el eclipse anular del 14 de octubre de 2023, y (b) el eclipse total del 8 de abril de 2024.

cercanas al Sol durante un eclipse total, y comprobó la desviación que sufre la luz al pasar cerca de una gran masa, una de las predicciones de la Teoría General de la Relatividad de Albert Einstein.

Características de la sombra de la Luna durante un eclipse de Sol

La distancia Tierra-Luna varía entre 357,300 km y 407,100 km. Conociendo la distancia precisa al momento de ocurrir un eclipse, se determinan el diámetro de la sombra, su velocidad y el tiempo de duración del eclipse. También se especifica si el eclipse será total o anular, y la trayectoria que seguirá la sombra de la Luna.

El diámetro máximo de esa sombra (cuando la Luna está lo más cercana a la Tierra) es de 268.7 km. Para calcular la velocidad con la que se mueve durante el eclipse, hay que restar a la velocidad de traslación de la Luna (3,600 km/h), la velocidad (por la rotación terrestre) del punto donde se observa el eclipse. Esta última es máxima en el ecuador y muy pequeña en las cercanías de los polos. De manera que la velocidad de la sombra variará aproximadamente entre 1700 km/h y 3380 km/h.

El tiempo que dura el Sol completamente eclipsado se calcula fácilmente dividiendo el diámetro de la sombra entre su velocidad. Los eclipses totales más largos de los que se tiene registro han durado hasta 12 minutos.

Eclipses totales de Sol en México

En el territorio mexicano hemos podido observar este fenómeno en pocas ocasiones. En los últimos 100 años, de acuerdo con el catálogo de eclipses de la NASA <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SE-cat5/SE0001-0100.html>, ocurrieron en 1923, 1940, 1970, 1984 y 1991. Cabe destacar que el eclipse de 1984 tuvo una duración de tan solo 11 segundos.

La buena noticia es que la gran escasez de eclipses totales de Sol en México tiene una etapa contrastante en 2023 y 2024. En efecto: el 14 de octubre de 2023 se tuvo la oportunidad de presenciar un eclipse anular en la Península de Yucatán. Por si fuera poco, el 8 de abril de 2024 ocurrió un eclipse total que fue visible en el norte de México. Las trayectorias que siguió la sombra de la Luna en ambos eventos, es decir, las zonas donde se observaron estos eclipses de manera total, se muestran en la Figura 5. Es importante mencionar que el siguiente eclipse total de Sol en México ocurrirá 28 años después, el 30 de marzo de 2052.

¿Qué se ve durante un eclipse total de Sol?

Tuve la oportunidad de presenciar los eclipses de 1970 y 1991. En el primero me tocó estar en la zona de penumbra, y aunque no se oscureció totalmente, pude observar algunos fenómenos aso-

ciados. Recuerdo la sombra anormal de las hojas de los árboles, un fenómeno óptico ocasionado por la obstrucción parcial de la luz solar.

El eclipse de 1991 ocurrió en el Valle de México alrededor de la 1 de la tarde. A esa hora, las estrellas brillaban y se escuchaban a los gallos cantar y ladrar a los perros. También se veían los pájaros volar hacia los árboles. En las zonas rurales pudo apreciarse un crepúsculo en el horizonte. Descendió la temperatura y surgieron las sombras volantes en el suelo (como las que vemos en el fondo de una piscina). Es decir, estar en la zona de la totalidad del eclipse permite apreciar el fenómeno de una forma mucho más completa que la que se puede tener estando en la zona de la penumbra.

Artículo publicado en línea el 27 de junio de 2023.



Referencias

1. Sitio de la NASA que contiene toda la información de los eclipses solares ocurridos entre 1999 a.C. y 3000 d.C.: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/solar.html>

Aleaciones de alta entropía

tan simples
y complejas
a la vez!

Paula Cintrón-Núñez
y José Gerardo
Cabañas-Moreno

Programas Multidisciplinarios,
Unidad Zacatenco, Cinvestav.

La combinación de diferentes elementos donde la mayoría son metales, se conoce como aleaciones metálicas; típicamente contienen solo uno o dos componentes principales —por ejemplo, bronce (Cu+Sn) y latón (Cu+Zn)— con el fin de evitar la presencia de numerosas fases diferentes, ya que microestructuras complejas normalmente se asocian con materiales difíciles de procesar. Sin embargo, en 2004, el concepto de aleaciones de alta entropía (HEA, por las siglas en inglés “High-Entropy Alloy”) fue propuesto por Yeh [1] y Cantor [2] para aleaciones multicomponentes con composiciones aproximadamente equiatómicas (esto es, en iguales proporciones atómicas de los elementos presentes). Así, una aleación HEA con Ti, V, Cr y Mo contiene aproximadamente 25% atómico de cada uno de estos elementos. Al contrario de lo que usualmente se pensaba, estas aleaciones tienden a formar un número reducido de fases, en particular del tipo de soluciones sólidas (SS) con estructuras cristalinas sencillas (cúbicas o hexagonales).

En las SS multicomponentes, las posiciones de los átomos de cada elemento son aleatorias, lo que es equivalente a un alto grado de desorden. El concepto termodinámico de entropía frecuentemente se visualiza como una medida del grado de desorden de un sistema; además, la segunda ley de la termodinámica establece que la entropía de un sistema siempre va en aumento. Por otra parte, la estabilidad de un material puede evaluarse en términos del cambio en la energía libre de Gibbs (ΔG) a temperatura y presión dadas, la cual se expresa como:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1)$$

donde ΔH es la entalpía, T la temperatura absoluta y ΔS la entropía. En términos simplificados, a presión constante, ΔH es el calor de formación que puede ser negativo (exotérmico – la formación desprende calor) o positivo (endotérmico – la formación requiere calor). La estabilidad de una fase se incrementa conforme se hace más negativa, por lo que el término $T\Delta S$ de la ecuación contribuye en ma-

yor medida a la estabilidad termodinámica de una fase conforme incrementa su valor (siempre positivo). Esta es la razón de ser de las HEA con SS de estructuras cristalinas sencillas.

Por otra parte, la denominación *alta entropía* indica que la magnitud de ΔS en el sistema, es mayor que la presentada en aleaciones convencionales. Dada una SS ideal, la entropía de mezcla (ΔS_{mix}) puede calcularse a partir de la ecuación de Boltzmann:

$$\Delta S_{mix} = k \ln w \quad (2)$$

donde k es la constante de Boltzmann (1.380649×10^{-23} J/K) y w es el número posible de configuraciones de las partículas del sistema. Por lo tanto, ΔS_{mix} (por mol) para la formación de una SS de N elementos con fracciones atómicas X_i es:

$$\Delta S_{mix} = -R \sum_{i=1}^n X_i \ln X_i \quad (3)$$

donde R es la constante de los gases ideales, (8.314 J/K mol). De acuerdo con la ecuación (3), ΔS_{mix} para una aleación es máxima cuando los elementos están en composiciones equiatómicas; además, su valor aumenta con el número de elementos (N) en el sistema. Así, tenemos que:

$$(4) \quad \Delta S_{mix} = -R \left(\frac{1}{N} \ln \frac{1}{N} + \frac{1}{N} \ln \frac{1}{N} + \dots + \frac{1}{N} \ln \frac{1}{N} \right) = -R \ln \frac{1}{N} = R \ln N$$

Valores de ΔS_{mix} calculados con la ecuación (4) se muestran en la Tabla 1. Como se señala, el valor de ΔS_{mix} aumenta rápidamente cuando $N < 9$; mientras que valores de N mayores a 9 no suponen un cambio significativo en el cálculo de ΔS_{mix} .

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\Delta S_{mix} (R)$	0	0.69	1.1	1.39	1.61	1.79	1.95	2.08	2.2	2.3	2.4	2.49	2.5

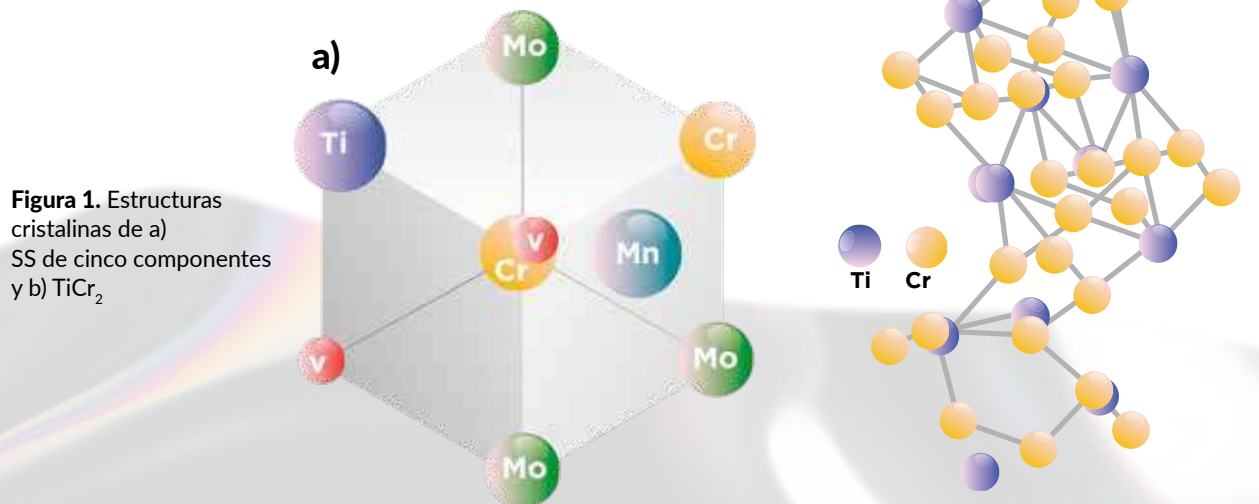
Tabla 1. Entropías de mezcla en términos de R para aleaciones equiatómicas con 1 y hasta 13 elementos, calculadas de acuerdo con la ecuación (4).

A modo de comparación, una aleación comercial de acero inoxidable 304 cuya composición en porcentaje atómico es 69% Fe, 19% Cr, 9% Ni, 1% C y 2% Mn (Tabla 2), en el caso de ser una SS de todos los elementos (que no lo es), tendría valor de ΔS_{mix} ideal de 0.91R, es decir, un 56.5% del valor calculado en la Tabla 1 para cinco elementos. Con base en lo anterior, la definición de la composición de las HEA puede explicarse —hasta cierto punto— a partir del cálculo de la entropía de mezcla.

Aleación	Composición (% at.)	$\Delta S_{mix} (R)$
Acero inoxidable SAE 304	$\text{Fe}_{0.69}\text{Cr}_{0.19}\text{Ni}_{0.09}\text{C}_{0.01}\text{Mn}_{0.02}$	0.91
Aleación de Aluminio 2024	$\text{Al}_{0.93}\text{Cu}_{0.04}\text{Fe}_{0.01}\text{Mg}_{0.01}\text{Mn}_{0.01}\text{Si}_{0.01}$	0.38

Tabla 2. Entropías de mezcla en términos de R para dos aleaciones comerciales, calculadas de acuerdo con la ecuación (4).

La estructura de una SS ideal de cinco componentes se ilustra en la Figura 1a. En ella se representa una distribución al azar de los distintos elementos de la aleación, cuya estructura se diferencia claramente de la Figura 1b, correspondiente a un compuesto intermetálico (IM) de estequiometría TiCr_2 . En este último se observa que los átomos de Ti y Cr ocupan posiciones particulares en la estructura cristalina. En términos de la entropía de mezcla, la estructura de la SS tiene mayor valor de ΔS_{mix} (mayor desorden) que el valor para el compuesto TiCr_2 (mayor orden). Y como se muestra en la Tabla 1, ΔS_{mix} para una SS aumenta con el número de componentes N , con lo que la contribución entrópica se hace más importante al aumentar N .



El trabajo inicial de HEA se dio a conocer en 2004 [1], cuando se introdujeron los términos “aleaciones de alta entropía” (HEA) y “aleaciones de elementos principales múltiples” (MPEA). Desde entonces, el interés en el estudio de HEA ha aumentado significativamente. La Figura 2 exhibe el crecimiento del número de publicaciones anuales en revistas indexadas en una búsqueda en Scopus de los términos “high entropy alloy” o “multi-principal element alloy” localizados en el título, las palabras clave, o el resumen. El interés no proviene directamente de las estructuras cristalinas que se forman, sino de las diversas propiedades que se han observado en estos materiales.

Hasta la fecha, la mayoría de los sistemas estudiados son aquellos basados en metales de transición 3d (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni), los cuales suelen formar fases cúbicas centradas en las caras. También es frecuente agregar a este tipo de HEA elementos como Al, Ti y Mg, con lo que se tornan en aleaciones más ligeras. Otro tipo de HEA de considerable interés han sido las llamadas HEA de metales refractarios (Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Ta, W), en especial por ser elementos de alta temperatura de fusión. En este tipo de aleaciones, la estructura de las SS frecuentemente es cúbica centrada en el cuerpo.

Debido a su carácter multicomponente y amplio rango de composiciones, es evidente la enorme cantidad de combinaciones posibles en HEA, las cuales no es viable abordar únicamente a través de prueba y error. Por ello, se han usado herramientas computacionales como CALPHAD (cálculos de diagramas de fase), cálculos ab initio, y “machine learning”, entre otras, con el propósito de predecir algunas de sus características y propiedades principales (p. ej., fases estables, resistencia mecánica, o propiedades catalíticas) y disminuir significativamente el número de diferentes composiciones de HEA potencialmente útiles.

Como se mencionó, las HEA se han investigado principalmente por el interés en sus propiedades mecánicas y estructurales. Sin embargo, crece notoriamente la atracción por desarrollar materiales de alta entropía en áreas como magnetismo, almacenamiento de hidrógeno, resistencia a la corrosión, termoelectricidad, superconductividad, catálisis e implantes biomédicos. Algunas aplicaciones potenciales se enumeran a continuación:

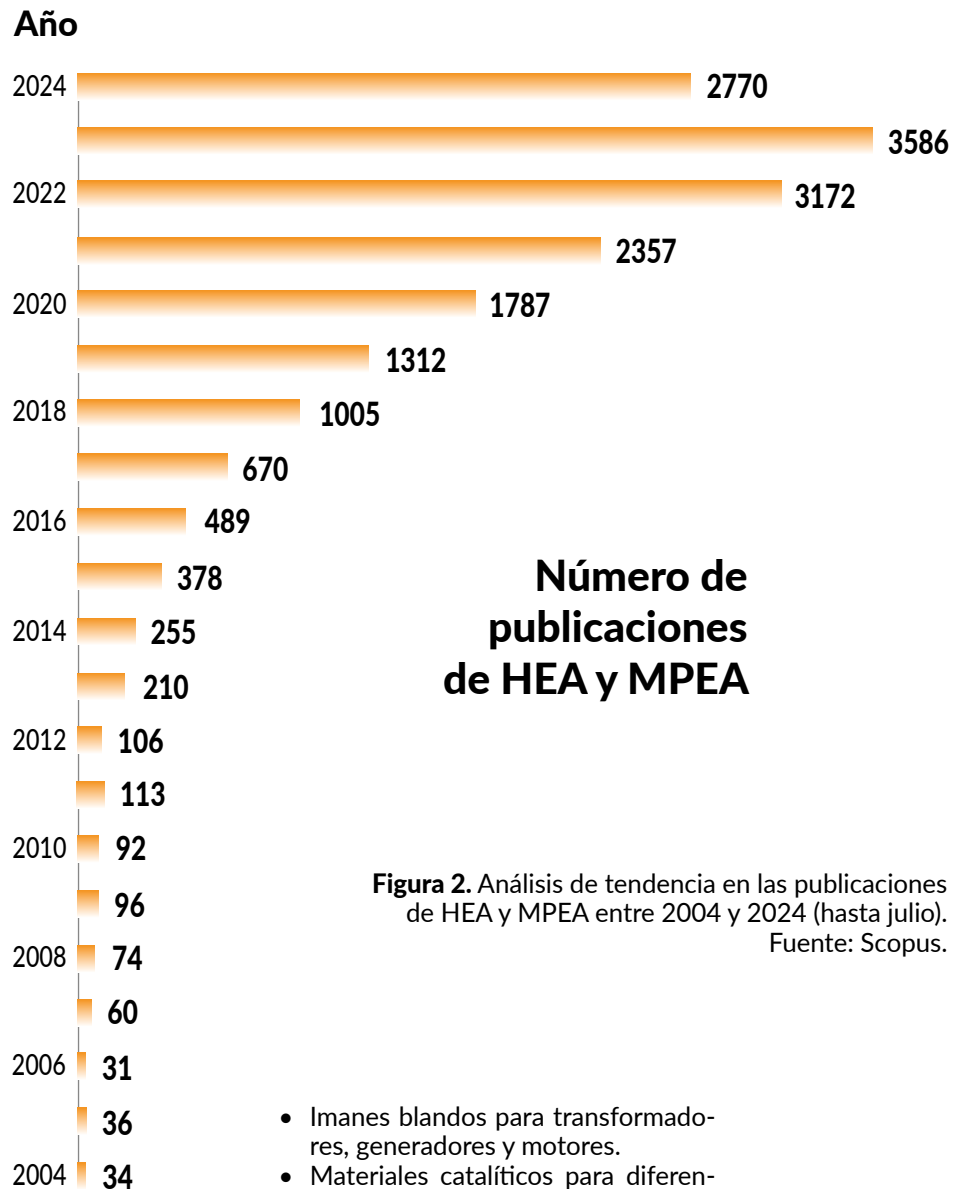


Figura 2. Análisis de tendencia en las publicaciones de HEA y MPEA entre 2004 y 2024 (hasta julio). Fuente: Scopus.

- Imanes blandos para transformadores, generadores y motores.
- Materiales catalíticos para diferentes reacciones como la descomposición del agua, la reducción electroquímica de CO_2 , la oxidación de hidrazina, la descomposición de colorantes, entre otras.
- Recubrimientos para prolongar la vida útil y mejorar la resistencia a la corrosión, oxidación y al desgaste de partes móviles como rodillos de excavadoras y bulldozers, cucharones excavadores, herramientas de corte, etcétera.
- Aleaciones para estructuras de reactores nucleares de cuarta generación con alta tenacidad a temperaturas ≥ 850 °C, resistencia a la oxidación y al daño por radiación.

- Materiales para troqueles y moldes de trabajo en caliente que soporten temperaturas de hasta 1200 °C.
- Activadores y catalizadores de dispositivos de detección con alta selectividad y la sensibilidad hacia analitos de detección (H₂, trietildamina, etcétera).
- Materiales para generadores de energía termoeléctrica.
- Almacenamiento de hidrógeno en estado sólido en forma de hidruros metálicos.
- Aleaciones para compresores, cámaras de combustión, boquillas de escape y diseño de álabes para turbinas de gas dentro del motor, como parte de sistemas de propulsión para misiones de exploración espacial.

Incluso, en años recientes el concepto fundamental de las HEA se ha extendido a “materiales de alta entropía” (HEM), tales como óxidos, carburos y cerámicos.

Paralelamente, se han comenzado a fabricar con éxito nanopartículas de aleaciones de alta entropía, por lo que la exploración de nuevas clases de HEA, auxiliada por herramientas computacionales para diseñar materiales con estructura y propiedades deseadas, continuará desarrollándose en los próximos años, de manera que existen numerosas oportunidades para futuras aplicaciones de las HEA.

Artículo publicado en línea el 31 de julio de 2023.



Referencias

- [1] Yeh J-W, Chen S-K, *et al* (2004). Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: Novel alloy design concepts and outcomes. *Advanced Engineering Materials*, 6(5), 299–303.
- [2] Cantor B, Chang ITH, *et al* (2004). Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 375–377, 213–218.

Desarrollo de los metales





En sentido estricto, la palabra biotecnología proviene del griego βίος [bíos], «vida», τέχνη [-tecne-], «destreza» y -λογία [-logía], «tratado, estudio, ciencia», y es entendida en su acepción más amplia y práctica como “el empleo de organismos vivos y sus productos para obtener un bien o servicio”. Para lograrlo, la biotecnología echa mano de diferentes ciencias como la química, la biología y la física; si bien la palabra pudiera sonar como algo moderno y de reciente creación, no es del todo correcto, pues el agrónomo húngaro Karl Ereky fue el primero en utilizar el término a finales de la década de 1910 [1]. Lo cierto es que esta ciencia surgió hace cientos de miles de años, probablemente desde el Paleolítico, cuando el Homo sapiens con su cerebro de 1,400 cm³ empezaba su transición de hábitos nómadas hacia los sedentarios. Una vez que dominó

Clasificación de la biotecnología por su color y aplicación.

Los océanos constituyen más de dos terceras partes de nuestro planeta. Son fuente de abundantes y diversos recursos, además de los alimenticios. Debido a ello, la comunidad científica ha explorado estas zonas con el fin de producir bienes y servicios a partir de los mares, el desarrollo de nuevas moléculas terapéuticas, la producción de biocombustibles alternativos y no contaminantes, y la adaptación de la acuicultura en función de las necesidades sociales y ambientales, son tan solo una muestra de ellos.

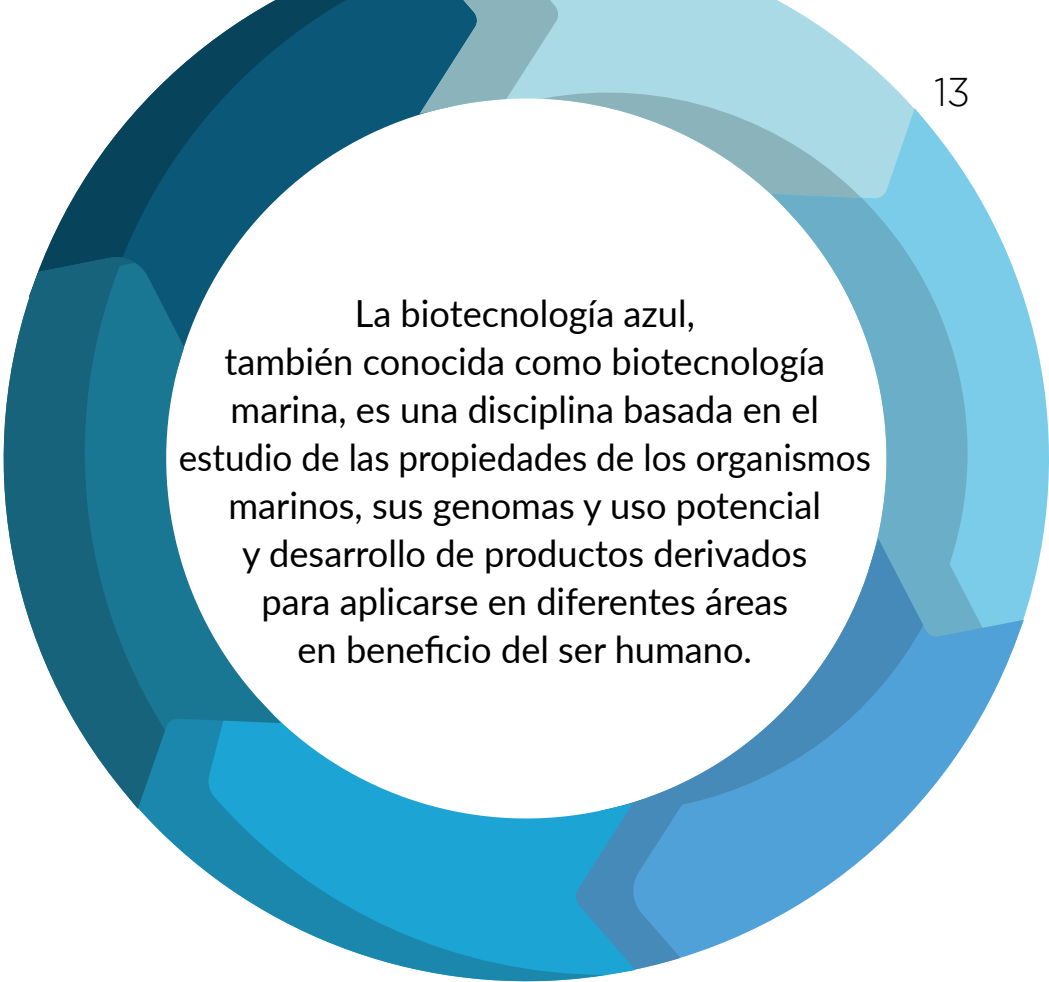
el fuego y adquirió la capacidad para producir sus alimentos, cultivando vegetales y domesticando animales, fue el momento en el que la biotecnología se volvió compañera en la historia evolutiva del género humano.

Los conocimientos inicialmente empíricos de manejo y uso de procesos biológicos, hoy reconocibles dentro de la biotecnología, se utilizaban desde los comienzos de la historia de la humanidad y se relacionaban principalmente con la elaboración de alimentos, tal es el caso de la fermentación de bebidas como el vino o el pulque, la fabricación de quesos y la panadería. Posteriormente sucedió algo similar con el desarrollo de las vacunas, a través de las primeras observaciones del médico Edward Jenner (1749-1823), los postulados de Robert Koch en 1884, y el diseño, un año más tarde, de la primera vacuna de Luis Pasteur con base en microorganismos atenuados. Y qué decir de Mendel, sus experimentos con los chícharos y la postulación posterior de sus leyes en 1865 que permiten actualmente mejorar los procesos de selección intraespecies.

Si reflexionamos por un momento, caemos en la cuenta de que la biotecnología incide y tiene aplicaciones en todas nuestras actividades diarias, como humanos y como sociedad, desde el desarrollo de nuevas terapias y fármacos para el tratamiento de enfermedades clásicas y emergentes, como es el caso de COVID-19, pasando por el desarrollo de nuevos productos alimenticios (nutraceúticos o alimentos funcionales), y el manejo adecuado de residuos contaminantes para la sustentabilidad ambiental.

La historia nos confirma que para entender y usar la naturaleza, el Homo sapiens ha tenido la necesidad de organizar y clasificar lo que le rodea: fruta venenosa, no venenosa, fruta inmadura o madura, etcétera. Así también surge la tendencia de simplificar la biotecnología, tan amplia y con innumerables aplicaciones, categorizándola mediante colores para concretar sus usos y referirse a ellas de manera universal [2]. Sin duda, la más reconocida es la biotecnología verde, enfocada a la agricultura (plantas transgénicas, agentes insecticidas), pero sin desplazar a la roja, aplicada a medicina (terapia génica, vacunas, terapia celular); la amarilla, relacionada con la alimentación (nutraceúticos); la blanca, para usos industriales (biocombustibles, enzimas catalizadoras); la gris, aplicada al cuidado del medioambiente (saneamiento de suelos, reciclaje de sustancias residuales), y más recientemente, la azul, dirigida a los ambientes acuáticos. En definitiva, un auténtico arcoiris de posibilidades.

¿Qué puede hacer la biotecnología azul por nosotros? Muchísimas cosas. Por ejemplo, el descubrimiento a finales de los años 60 de una proteína verde fluorescente (GFP, por sus siglas en inglés), proveniente de la medusa *Aequorea victoria*, tuvo gran impacto en la biología celular; actualmente permite etiquetar otras proteínas y de esta forma obtener información sobre la localización, dinámica y cambios bioquímicos dentro y entre las células (desarrollo de redes neuronales, evolución de enfermedades como el cáncer o el Alzheimer, proliferación de ciertos virus, entre otros). Recientemente Europa aprobó la trabectedina, primer antitumoral de origen marino del mundo, obtenido del tunicado *Ecteinascidia turbinata* y que



La biotecnología azul, también conocida como biotecnología marina, es una disciplina basada en el estudio de las propiedades de los organismos marinos, sus genomas y uso potencial y desarrollo de productos derivados para aplicarse en diferentes áreas en beneficio del ser humano.

hoy se comercializa con el nombre de Yondelis® en más de 80 países. Otro ejemplo notable es el compuesto ziconotide, extraído de un gasterópodo del género denominado *Conus* y usado en el tratamiento del dolor crónico. El fármaco comercializado con el nombre de Prialt® posee ventajas importantes: no produce dependencia ni desarrolla tolerancia y tiene un potencial analgésico muy superior a la morfina [3]. Los vegetales marinos también detentan un papel protagónico en la biotecnología azul. El alga verde *Ulva lactuca* se utiliza como material de sustitución de la sílice amorfa en la fabricación de llantas para automóviles, tecnología patentada por la empresa italiana Pirelli [4]; será cuestión de tiempo ver estas llantas rodar en las calles.

En el océano las algas están sometidas a variaciones constantes en el medio que habitan: la luz que reciben, la temperatura, salinidad y nutrientes donde crecen y el oleaje y mareas que las mecen. Como forma de adaptación a este medio variable, han desarrollado una gran capacidad para producir numerosos compuestos y metabolitos, a veces únicos, que pueden compensar estos cambios y fluctuaciones. Así, la producción de

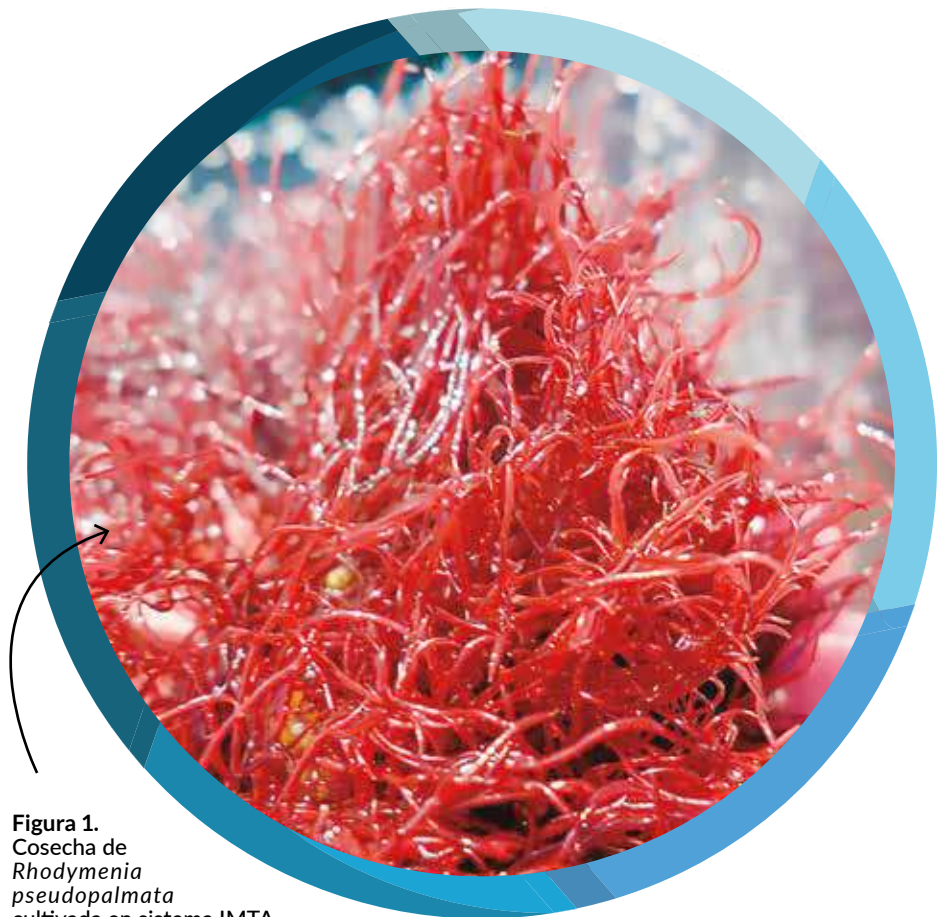


Figura 1.
Cosecha de
*Rhodomyenia
pseudopalmata*
cultivada en sistema IMTA.
Foto: Daniel Robledo.

diversos compuestos entre los que encontramos ciertos pigmentos, fenoles, terpenos, polisacáridos, esteroides, proteínas, aminoácidos y lípidos, garantiza su supervivencia en estos ambientes. Es relevante señalar que muchas de las moléculas producidas por las algas muestran también diferentes actividades biológicas, por lo que pueden funcionar como agentes antioxidantes, antitumorales y antivirales. Es por ello que las algas marinas se convierten en importantes reservorios de nutrientes y de sustancias bioactivas, siendo una fuente potencial de nutraceuticos, es decir, alimentos o ingredientes alimentarios que benefician a la salud más allá de su valor nutritivo [5].

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), para el 2050 seremos casi 10,000 millones de personas habitando el planeta. En este contexto, el cultivo de algas marinas para obtener biomasa abundante se considera como una posible solución para satisfacer la demanda de alimento, además de coadyuvar a desafíos globales tales como la salud humana, contribuyendo a

una bioeconomía circular sostenible. En los últimos años, gracias a los avances de la biotecnología marina y la acuicultura se ha logrado establecer el concepto de acuicultura multitrofica integrada (IMTA, por sus siglas en inglés). Este concepto se basa en el cultivo, en un mismo sistema, de organismos de diferentes niveles tróficos, donde la excreción de estos especímenes de nivel superior, se convierte en un recurso utilizado por los niveles inferiores, creando así una cadena trófica que permite reducir la cantidad de residuos vertidos al ecosistema, mejorando la calidad del agua y la sanidad de los animales [6]. En los sistemas IMTA, la presencia de algas destaca debido a su capacidad de biofiltración, ya que maximiza la eficiencia de los recursos a la vez que proporciona una biorremediación natural en los sitios de cultivo, mejorando la calidad del agua al absorber los nutrientes. Los sistemas de acuicultura multitrofica contribuyen a hacer que la acuicultura sea más sostenible, competitiva y diversa, sin contar con que la biomasa algal obtenida puede tener un potencial valor económico. Los laboratorios de Fisiología Aplicada

y Ficoquímica Marina del Cinvestav-Mérida se enfocan desde hace varios años en la fisiología y reproducción de algunas especies de algas marinas tropicales con potencial biotecnológico, lo que ha permitido conocer y desarrollar estrategias de crecimiento, cultivo y manipulación con miras a su aprovechamiento. A la par se realizan trabajos de valorización de las especies mediante la extracción de metabolitos con actividad biológica para su aplicación como fuente de compuestos con potencial nutraceutico y agentes terapéuticos. Se han obtenido resultados muy promisorios derivados del proyecto NUTRAMAR (Nutraceuticos de Algas Marinas Conacyt-2015-01-118) con las algas rojas *Rhodomyenia pseudopalmata* (J.V.Lamouroux) y *Solieria filiformis* (Kützing) Gabrielson. Estas especies se integran exitosamente en un sistema IMTA (Figura 1), mostrando alta productividad y tasas de crecimiento, además de beneficios ambientales al disminuir las concentraciones de amonio en el agua proveniente del cultivo de otros organismos animales [7].

Aunado a lo anterior, la biomasa de estas dos especies puede ser manipulada tanto en su cultivo como durante su extracción, obteniendo con éxito compuestos bioactivos con actividad antioxidante [8,9] y antiviral [10]. Actualmente se trabaja en la actividad antidiabética y anticolesteronémica de sus extractos con el objetivo de identificar compuestos que pudieran ayudar a tratar y prevenir patologías como la obesidad y diabetes a través de la inhibición de las enzimas encargadas de la hidrólisis de carbohidratos y lípidos. No está por demás señalar que la presencia de estas dos enfermedades, aunada a la existencia de hipertensión da lugar al desarrollo del síndrome metabólico, catalogado como enfermedad no transmisible (ENT). Las ENT progresan lentamente y conducen a una reducción de la calidad de vida de los pacientes, así como a un aumento de la morbilidad y la mortalidad, generando un alto costo económico y social. Es importante señalar que, en lo referente a la seguridad alimentaria, las especies no muestran citotoxicidad ni acumulación de metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As) que pudieran ser nocivos para la salud,

por lo que tendrían posibilidad de incluirse en la dieta alimenticia (Figuras 2 y 3).

Resultados del mismo proyecto NUTRAMAR sugieren que para *Solieria filiformis* la técnica de encurtido es uno de los procesamientos más adecuados desde el punto de vista nutricional para su eventual consumo. Además de obtener una atractiva coloración roja con esta técnica, la presencia del ácido graso monosaturado, ácido oléico (C18:1), componente principal del aceite de oliva usado en dietas saludables, se ve favorecido. Por lo anterior esta especie (*S. filiformis*) ha sido propuesta como una alternativa excelente y sustentable dentro un marco de biotecnología azul. Por ello, y a partir de los resultados obtenidos, se espera contribuir con un beneficio ambiental, de salud humana, nutricional y biotecnológico. Sin embargo, a pesar de los beneficios potenciales para nuestra salud la “pregunta del millón” surge... ¿comeremos algas? ¿nos gustarán?

Para responder algunas de estas preguntas, en 2021 se llevó a cabo un estudio prospectivo con la finalidad de obtener información sobre la percepción y actitud hacia el consumo de algas marinas como opción alimenticia en México. Como parte de la investigación se lanzó un cuestionario de alcance nacional. A la fecha de esta publicación aproximadamente 650 han respondido a la encuesta y los datos obtenidos se siguen generando y analizando estadísticamente para obtener una respuesta



Figura 2. Propuesta gastronómica del Chef Pedro Evía del restaurante K'u'uk para *Solieria filiformis*. Foto: Yolanda Freile



Figura 3. Propuesta gastronómica del Chef Pedro Evía del restaurante K'u'uk para *Rhodymenia pseudopalmata*. Foto: Yolanda Freile

certera al potencial de las algas como alimento humano en México. Es interesante notar que los resultados preliminares parecen evidenciar que la falta de conocimiento e información son la principal barrera que evita que nos animemos a integrar a las algas marinas en nuestra alimentación diaria, dando la razón al refrán popular “no se puede comer lo que no se conoce”. De tal suerte, es necesario e imperativo impulsar la divulgación de las propiedades y beneficios para propiciar una mayor aceptación como producto marino alternativo.

La apuesta por este color de la biotecnología es uno de los grandes desafíos de la investigación en el contexto mundial en los años venideros. Desde luego, nos queda mucho por investigar, así que en esta ocasión no hay un colorín colorado... porque esta historia aún no ha terminado.

Artículo publicado en línea el 7 de octubre de 2021.



Referencias

- [1] Fári MG, Krazlovánsky UP (2006) The founding father of biotechnology: Károly (Karl) Ereky. *International Journal of Horticultural Science* 12 (1) 9-12.
- [2] Da Silva, EJ (2004) The colours of biotechnology: science, development and humankind. *Electronic Journal of Biotechnology* 7(3) 1-2.
- [3] Prommer E (2006) Ziconotide: a new option for refractory pain. *Drugs Today* 42 (6) 369-378.
- [4] Cataldo F, Carrasco F, et al (2006) Procedimento e formulazioni per la preparazione di mescolanze mediante l'impiego di biomasse come ad esempio Ulva e ulvano come biopolimeri naturali e loro impiego nella fabbricazione di pneumatici e di altri manufatti in gomma". Italia. Número de patente: 0001333847.
- [5] Lopes D, Melo T, et al (2020) Valuing bioactive lipids from green, red and brown macroalgae from aquaculture, to foster functionality and biotechnological applications. *Molecules* 25 (17) 3883.
- [6] Neori A, Shpigel M (1999) Using algae to treat effluents and feed invertebrates in sustainable integrated mariculture. *World Aquaculture* 30(46-49) 51.
- [7] Peñuela A, Robledo D, et al (2018) environmentally friendly valorization of *Solieria filiformis* (Gigartinales, Rhodophyta) from IMTA using a biorefinery concept. *Marine Drugs* 16, 487
- [8] Zepeda E, Freile-Pelegrín Y, et al (2020) Nutraceutical assessment of *Solieria filiformis* and *Gracilaria cornea* (Rhodophyta) under light quality modulation in culture. *Journal of Applied Phycology* 32, 2363-2373.
- [9] Pliego-Cortés H, Bedoux G, et al (2019) Stress tolerance and photoadaptation to solar radiation in *Rhodymenia pseudopalmata* (Rhodophyta) through mycosporine-like amino acids, phenolic compounds, and pigments in an integrated multi-trophic aquaculture system. *Algal Research* 41, 101542
- [10] Peñuela A, Bourgougnon N, et al (2021) Anti-herpes simplex virus (HSV-1) activity and antioxidant capacity of carrageenan-rich enzymatic extracts from *Solieria filiformis* (Gigartinales, Rhodophyta). *International Journal of Biological Macromolecules* 168, 322-330.

De las antiguas matemáticas a la ciencia moderna:

Por mucho tiempo la función exponencial ha jugado un papel fundamental en las matemáticas, y su impacto ha trascendido esta disciplina. En este artículo reseñamos su historia, partiendo desde las civilizaciones antiguas y examinando su evolución. Además resaltamos algunos de los hitos matemáticos que llevaron a la creación de la función exponencial. Finalmente, proporcionamos una mirada breve de cómo la función exponencial es utilizada en áreas como la física, ingeniería y biología.

El emocionante viaje de la función exponencial

Moisés Santillan

Unidad Monterrey, Cinvestav.

Cuenta una leyenda que el dios Krishna se presentó ante un rey personificando a un hombre sabio y lo retó a un juego de ajedrez, el juego favorito del rey. Antes de comenzar decidieron lo que sería el premio si ganaba el sabio. Éste dijo que sólo quería una pequeña cantidad de arroz que se calcularía utilizando el tablero de ajedrez. Un grano de arroz se colocaría en el primer cuadro y el número de granos se duplicaría en cada cua-

dro sucesivo. El rey al perder el juego, se vio obligado a cubrir su deuda. Sin embargo, al ir colocando los granos de arroz en el tablero, pronto se dio cuenta de que no tendría suficiente arroz para pagar. Krishna entonces, se reveló en su verdadera forma y le dijo al rey que podía pagar la deuda poco a poco, ofreciendo arroz gratuito en el templo todos los días hasta que la deuda estuviera completamente pagada.

Esta historia ha sido contada de muchas maneras diferentes con el pasar de los años. En algunas variantes, el personaje del dios Krishna es reemplazado por un siervo, el creador del juego de ajedrez, o un artesano que hace los mejores tableros de juego. En otras versiones se

usa trigo en lugar de arroz. También hay variaciones en el final de la historia; en algunas el gobernante mata a la persona que debería recibir el premio, mientras que en otras el premio se da sólo si se cuenta cada grano de manera individual. Sin embargo, el mensaje central de la historia sigue siendo el mismo: el aumento explosivo en un patrón donde cada paso se multiplica por la misma cantidad (progresión geométrica) en lugar de sumársele una cantidad fija (progresión aritmética).

Las raíces de las progresiones geométricas, una forma discreta de la función exponencial, se remontan a la antigua Grecia y posiblemente a los sumerios. Sin embargo, sería hasta el siglo XVIII que, gracias a algunos de los matemáticos más importantes del mundo, la función exponencial fue finalmente descubierta. A pesar de su corta edad, su impacto ha sido enorme y se extiende a muchos campos científicos. Para contar la historia de la función exponencial, es necesario empezar con la invención de los logaritmos.

Los logaritmos fueron creados de forma independiente por los matemáticos John Napier, de Escocia, y Jost Bürgi, de Suiza, con el objetivo de simplificar los cálculos en la trigonometría esférica, una herramienta utilizada en astronomía y navegación estelar. Aunque Bürgi probablemente creó su sistema de logaritmos alrededor del 1600, la descripción de Napier fue publicada primero, en 1614, en el libro *Mirifici Logarithmorum Canonis Descriptio* (Descripción del Maravilloso Canon de Logaritmos), y gracias a ello fue ampliamente reconocido como el inventor de los logaritmos y tendría gran impacto en su evolución.

Los logaritmos vinculan la multiplicación en los números reales positivos y la suma en los números reales. Napier en particular, definió sus logaritmos como la relación entre dos partículas que se mueven a lo largo de una línea: una con una velocidad constante, y la otra con una velocidad proporcional a la distancia desde un punto fijo. Aunque cumplía con el propósito para el que fue introducido, la definición del logaritmo de Napier, LogNap, era un tanto rebuscada e introducía algunas complejidades innecesarias en los cálculos. Para ilustrar lo anterior, podemos echar un vistazo a la manera en que se relaciona con el logaritmo natural, ln:

$$\text{LogNap}(x) = -10^7 \ln(x/10^7).$$

El matemático inglés Henry Briggs hizo dos visitas a Edimburgo en 1616 y 1617 para colaborar con John Napier. Durante sus conversaciones, discutieron y aceptaron la propuesta de Briggs para modificar los logaritmos de Napier. Después de su segunda visita, Briggs publicó en 1617 la primera tabla de sus logaritmos mejorados, conocidos actualmente como logaritmos comunes o base 10 (\log_{10}). Su uso se extendió rápidamente debido a la manera en que facilitaban la realización de cálculos complejos. Esto se debió en gran parte a que nuestro sistema de numeración se basa en potencias de 10.

En 1649 Alphonse Antonio de Sarasa, quien fue estudiante de Grégoire de Saint-Vincent, demostró que el área $A(t)$ bajo la hipérbola $xy = 1$ entre $x = 1$ y $x = t$ obedece la siguiente relación común a todas las funciones logarítmicas:

$$A(tu) = A(t) + A(u).$$

Los matemáticos de la época pronto se dieron cuenta de que esta característica podría llevar a la creación de un nuevo tipo de logaritmo. Así, Mercator publicó en 1668 su libro *Logarithmotechnia*, con las primeras tablas de lo que ahora se conoce como logaritmo natural.

El libro clásico de Leonhard Euler, *Introductio in analysin infinitorum* (Introducción al Análisis Infinito), publicado en 1748, marcó el paso final en el desarrollo de logaritmos. Antes de Euler, los logaritmos solían definirse utilizando el cálculo integral. Sin embargo, Euler cambió esto introduciendo la potenciación a^x con base a en los números reales positivos, y a partir de esta función definió el logaritmo base a como la función inversa.

El trabajo revolucionario de Jacob Bernoulli en el tema de interés compuesto, abrió el camino para el descubrimiento de la constante que más tarde fue denotada como e por Euler. La contribución de Bernoulli se puede describir de manera concisa de la siguiente manera: considere el crecimiento del capital cuando se invierte a una tasa de interés anual del 100% y se capitaliza en intervalos de tiempo $1/n$. Al final del año, el capital se habrá multiplicado por un factor de

$$\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n.$$

Bernoulli demostró que a medida que aumenta el valor de n , este factor converge a un valor constante entre 2 y 3.

Euler amplió el trabajo de Bernoulli definiendo la función exponencial y el logaritmo natural de la siguiente manera:

$$\exp(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n$$

$$\ln(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} n \left(x^{1/n} - 1\right).$$

Además, Euler estableció que la función exponencial es una función de potenciación con base e , $\exp(x) = e^x$ y que la función exponencial y el logaritmo son funciones mutuamente inversas.

En su libro *A Mathematician's Apology*, Godfrey H. Hardy argumentó que una idea matemática es *seria* o *significativa* si puede conectarse de manera natural y clara con un gran número de otras ideas matemáticas. Así, es altamente probable que un teorema matemático serio, que conecta ideas significativas, conduzca a avances importantes en las matemáticas y en otras ciencias. Hardy utilizó como ejemplo la demostración de Pitágoras sobre la irracionalidad de $\sqrt{2}$, destacando cómo un teorema simple y elegante puede abrir nuevas vías para el desarrollo de las matemáticas.

La función exponencial es un excelente ejemplo de una idea matemática que ha dejado un impacto duradero, no solo en matemáticas, sino también en otros campos. Se considera una pieza clave para el avance de todas las áreas modernas de matemáticas. Además, sus aplicaciones son diversas y pueden verse en campos como la física, donde explica procesos que van desde el decaimiento radiactivo hasta la dinámica de poblaciones. En finanzas se utiliza en el modelado de tasas de interés y precios de acciones. La función exponencial también es un componente crítico en la ingeniería, donde es fundamental para el desarrollo de circuitos eléctricos, sistemas de control y de comunicación, solo por mencionar algunos ejemplos.

En *Introductio in analysin infinitorum* Euler introdujo la ecuación que lleva su nombre:

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x.$$

En especial, cuando $x = \pi$, esta fórmula conduce a la conocida identidad de Euler:

$$e^{i\pi} + 1 = 0,$$



Especial

Esta historia ha sido contada de muchas maneras diferentes con el pasar de los años. En algunas variantes, el personaje del dios Krishna es reemplazado por un siervo, el creador del juego de ajedrez, o un artesano que hace los mejores tableros de juego.

que es considerada por muchos como una de las ecuaciones más hermosas de las matemáticas, ya que combina las tres operaciones matemáticas básicas (suma, multiplicación y potenciación) y relaciona 5 constantes matemáticas fundamentales (0, la identidad aditiva; 1, la identidad multiplicativa; la unidad de los números imaginarios, i , π y e). La identidad de Euler es un punto de convergencia de diversas disciplinas matemáticas, como la aritmética, la trigonometría y la teoría de números complejos.

La fórmula de Euler también ha sido de gran importancia en la física y la ingeniería a través, entre otros ejemplos, del análisis de Fourier, el cual permite descomponer funciones complejas en sumas de funciones trigonométricas simples y cuyas aplicaciones más significativas incluyen:

- Procesamiento de señales: en el análisis y manipulación de señales como las de audio, imágenes y voz.
- Compresión de imágenes: en algoritmos de compresión de imágenes para reducir la cantidad de datos necesarios para representar una imagen.

- Análisis espectral: en el estudio de los componentes de frecuencia de las señales, como las producidas por objetos vibratorios u ondas electromagnéticas.

- Diseño de filtros: en la creación de filtros electrónicos que eliminen frecuencias no deseadas de las señales.

- Transferencia de calor: en el análisis del flujo de calor en sólidos y fluidos.

- Mecánica cuántica: en el estudio del comportamiento de partículas en un estado cuántico.

- Sismología: en el análisis de la propagación de ondas sísmicas.

- Análisis electromagnético: en el estudio del comportamiento de campos electromagnéticos.

- Análisis de señales neuronales: en el estudio de los campos eléctricos y magnéticos emanados de la actividad cerebral.

- Análisis de la estructura de proteínas: para determinar la estructura de las proteínas mediante cristalografía de rayos X.

En conclusión, la función exponencial ha trascendido el ámbito de la teoría matemática y se ha convertido en una herramienta vital en diferentes campos. Su impacto ha sido inconmensurable en el desarrollo de las ciencias naturales y sociales y ha permanecido como una fuerza impulsora detrás de numerosos avances tecnológicos.

Los lectores interesados en una comprensión más profunda de la historia de las funciones exponenciales y logarítmicas encontrarán interesante la serie de artículos *History of the Exponential and Logarithmic Concepts*, publicados en 1913 en la *American Mathematical Monthly*, volumen 20, números 1 a 7.

Estos artículos pueden ser consultados de forma gratuita en Jstor en la siguiente URL: <https://www.jstor.org/>.

Artículo publicado en línea el 31 de marzo de 2023.



Una revolución electrificante

Juan Fernando Méndez
Vázquez y Fabián
Fernández-Luqueño

Posgrados en Sustentabilidad
de los Recursos Naturales
y Energías, **Unidad Saltillo,**
Cinvestav.

Actualmente los niveles de contaminación son considerados en la toma de decisiones solo en algunas ocasiones. Difícilmente se acepta que la explotación de los recursos naturales haya causado el deterioro de los ecosistemas, los cuales son nuestra riqueza, responsabilidad y herencia generacional. Por fortuna, con el tiempo se han logrado avances tecnológicos significativos mediante la experimentación o el modelado matemático, para generar conocimiento que enmiende nuestros errores y disminuya la degradación de los ecosistemas.

Uno de estos avances tecnológicos es la electroquímica, encargada de estudiar la transformación y aprovechamiento de la energía mediante reacciones químicas y sus diversas aplicaciones en la vida diaria. Algunas de estas aplicaciones son el almacenamiento de la electricidad y la remediación de sitios contaminados por diversas fuentes, las cuales han alterado el equilibrio del suelo, sus microorganismos y su vegetación.

Los sistemas electroquímicos (SEQ) son aquellos en los que se puede obtener y almacenar energía mediante reacciones químicas. La generación de energía se realiza a través de celdas voltaicas y galvánicas que generan un flujo de electrones mediante reacciones espontáneas de reducción y oxidación. El almacenamiento de energía se realiza en baterías, las cuales son conocidas como generadores secundarios debido a que para funcionar se les debe suministrar electricidad mediante un proceso de

carga [1]. Los SEQ constan de cuatro componentes indispensables, los cuales se muestran en la Figura 1.

Batería: presente en las celdas voltaicas para provocar las reacciones redox (Fig. 1a).

Electrodos: comúnmente son barras metálicas en las cuales se llevan a cabo las reacciones redox (oxidación y reducción), cambiando los estados de valencia. Son conocidos como: cátodo (-; Fig. 1b) y ánodo (+; Fig. 1c).

Electrolito: es una sustancia líquida que contiene sales disueltas (Fig. 1d) y favorece la formación de iones (Fig. 1e).

Puente externo: transporta los electrones a través de una conexión externa la cual cierra el circuito (Fig. 1f).

Como se indica en la Figura 1, la energía de la batería pasa hacia los electrodos y se llevan a cabo las reacciones redox dentro del electrolito (la reducción en el cátodo y la oxidación en el ánodo), separando al electrolito en iones que serán atraídos por las cargas de los electrodos y podemos obtener diversos compuestos gaseosos (e.g. hidrógeno y oxígeno de la hidrólisis del agua).

Por otro lado, si buscamos almacenar la energía producida por la reacción entre el electrolito y los electrodos necesita-

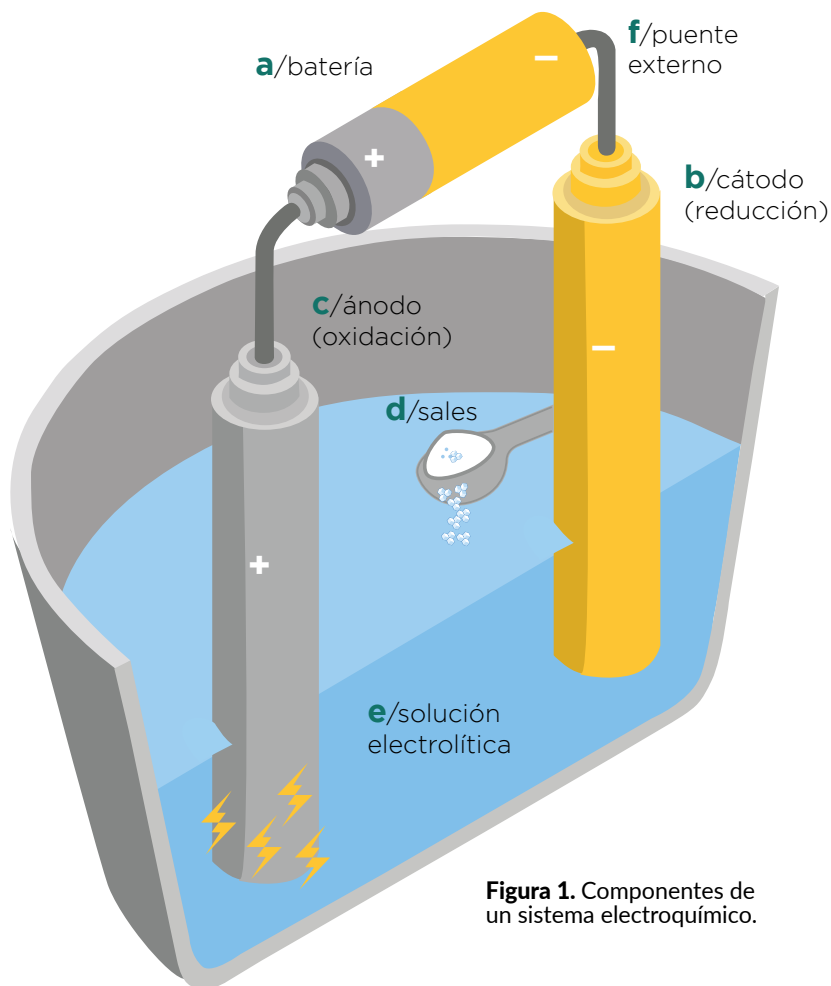


Figura 1. Componentes de un sistema electroquímico.

remos que el electrolito sea compatible con un electrodo para que se dé el flujo de iones y los electrones equilibren la reacción. Podemos aprovechar este flujo de electrones para almacenar la energía o usarla de forma directa. La electroquímica basa su funcionamiento en las leyes sobre electrólisis de Faraday, las cuales indican que la cantidad de material que será depositado de un electrodo a otro está relacionada con la corriente (flujo de electrones) y la masa atómica de los elementos. Estas dependen también de la concentración, presión y temperatura a las que operan los SEQ.

Los SEQ deben ser alimentados con electricidad, que es generada por fuentes de combustible tradicionales, las cuales tienen una eficiencia cercana al 40 % y emiten gases de efecto invernadero. Los SEQ juegan un papel fundamental en la transición energética de las fuentes convencionales de energía hacia el uso de las energías renovables debido a las intermitencias presentes en estas últimas (e.g. los sistemas fotovoltaicos requieren baterías para proveer electricidad durante la noche o los días muy nublados).

Es importante recordar que existen dos tipos de celdas: la galvánica y la voltaica. En la primera ocurren reacciones espontáneas de las que se puede obtener una corriente eléctrica debido a la diferencia de potenciales (voltaje) entre los electrodos. En las celdas voltaicas es necesario proveer energía eléctrica para que se den las reacciones redox. La electroquímica se emplea a gran escala en la industria debido a sus aplicaciones tan diversas como la galvanoplastia (recubrimiento de metales para evitar corrosión), la electrólisis del agua (descomposición de la molécula del H_2O en los gases hidrógeno [H_2] y oxígeno [O_2] en una celda voltaica), así como la obtención de diversos componentes gaseosos como el cloro.

Los principios electroquímicos (atracción de los iones positivos o negativos a los electrodos respectivos) se han empleado en la gestión ambiental a través

La electroquímica es un área del conocimiento que brinda beneficios a la sociedad a través de la generación y almacenamiento de energía, la limpieza de sitios contaminados, la síntesis de nuevos materiales y el aprovechamiento de recursos minerales

de la electrocoagulación de tintas, la desalinización del agua para el consumo humano, entre otros.

Por último, pero no menos importante, se encuentra la aplicación electrocinética para la remediación de los suelos (Figura 2), la cual consiste en suministrar una corriente directa a los electrodos distribuidos en la superficie del suelo, adicionando agua o algún electrolito como hidróxido de sodio (NaOH) para optimizar el transporte de los contaminantes a los electrodos y facilitar el contacto entre estos. La diferencia de voltaje entre los electrodos da paso a la electrólisis del agua, produciendo iones hidrógeno (H^+) e hidroxilos (OH^-); el H^+ migra al ánodo a través del suelo

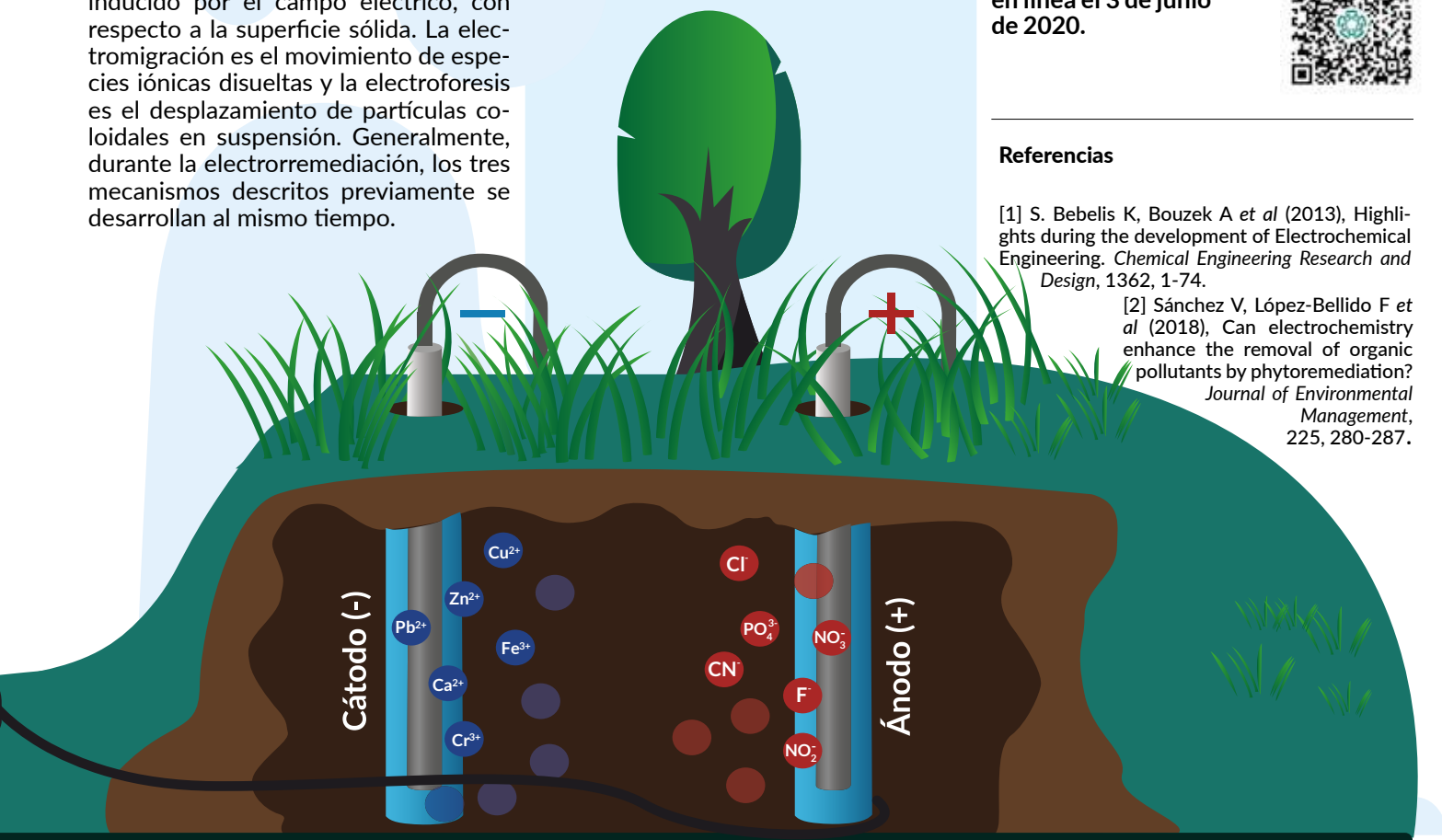


y los OH^- al cátodo. Dependiendo de esta migración, muchos procesos fisicoquímicos que son controlados por el pH se verán afectados. Entre ellos están la absorción, desorción, disolución, precipitación, oxidación y reducción de los contaminantes. Para evitar la modificación del pH del suelo cercano al electrodo se recomienda cambiar la polaridad de los electrodos, ya que estos acidifican o alcalinizan el suelo cercano a ellos. Además, es de vital importancia conocer las características fisicoquímicas del suelo ya que la capacidad de intercambio catiónica, la permeabilidad y la conductividad eléctrica afectarán el desempeño de la electrocinética.

La selección de los electrodos para la electroremediación se basa en la naturaleza de los contaminantes, pues los metales pesados han sido removidos con gran eficacia al usar electrodos de titanio. Además, los electrodos deben ser inertes para evitar la incorporación de nuevos contaminantes por el desgaste de estos. El campo eléctrico de los electrodos conduce los contaminantes hacia ellos a través de los siguientes mecanismos: electroósmosis, electromigración y electroforesis. La electroósmosis es el desplazamiento del líquido inducido por el campo eléctrico, con respecto a la superficie sólida. La electromigración es el movimiento de especies iónicas disueltas y la electroforesis es el desplazamiento de partículas coloidales en suspensión. Generalmente, durante la electroremediación, los tres mecanismos descritos previamente se desarrollan al mismo tiempo.

Los SEQ para la remediación electrocinética son seguros porque se suministran corrientes del orden de 1 a 3 volts por cm y se emplean electrolitos no tóxicos [2]. Además, se pueden tratar diversos contaminantes, orgánicos o inorgánicos, en distintas fases (sólido, líquido o gaseoso). Igualmente, la electroremediación de suelos se ha empleado junto con otras técnicas como la fitorremediación (remediación de suelos mediante el uso de plantas), observando que la aplicación de electricidad ayuda a la degradación y fitoestabilización de los contaminantes. Sin embargo, es necesario realizar estudios sobre la acción de la electricidad en el crecimiento de las plantas y los efectos en los meso y microorganismos del suelo.

Figura 2. Proceso simplificado de remediación de suelo por electrocinética o electroremediación de suelos. Los contaminantes migran hacia los electrodos, debido a la polaridad y a la hidrólisis del agua. La molécula del agua (color azul en dos tonos) indica que el suelo debe estar húmedo (Diseño de autores).



La remediación electrocinética o electrorremediación puede usarse para:

- Remoción de iones metálicos por electromigración.
- Remoción de especies volátiles y semivolátiles al incrementar la temperatura.
- Remoción de especies aniónicas con la adición de surfactantes. Este proceso es conocido como EKSF por sus siglas en inglés (electrokinetic soil flushing).
- Reducción en la concentración de metales pesados en lodos.
- Remediación de suelos contaminados por pesticidas.

Como se ha indicado, la electroquímica puede adaptarse para diversos procesos en la industria química, metalúrgica, energética y ambiental. Por consiguiente, la electroquímica es un área del conocimiento que seguirá brindando beneficios a la sociedad a través de la generación y almacenamiento de energía, la limpieza de sitios contaminados, la síntesis de nuevos materiales y el aprovechamiento de recursos minerales, entre otros.

Artículo publicado en línea el 3 de junio de 2020.



Referencias

[1] S. Bebelis K, Bouzek A et al (2013), Highlights during the development of Electrochemical Engineering. *Chemical Engineering Research and Design*, 1362, 1-74.

[2] Sánchez V, López-Bellido F et al (2018), Can electrochemistry enhance the removal of organic pollutants by phytoremediation? *Journal of Environmental Management*, 225, 280-287.



conociendo al “enemigo”

Foto: Especial

Daniel Robledo y
Erika Vázquez-Delfín

Departamento de Recursos del Mar,
Unidad Mérida, Cinvestav.

El Mar de los Sargazos, siempre envuelto en misterio y objeto de interés durante la antigüedad, hoy en día sigue despertando inquietud entre las diversas áreas del conocimiento. Oceanógrafos, físicos, geólogos y biólogos han planteado una serie de cuestionamientos alrededor de esta región; ahora, ante el crecimiento excesivo de algas flotantes, también llamadas pelágicas, y su acumulación masiva en las costas del Caribe, las preguntas aumentan. Algunas de ellas continúan sin respuesta.

El nombre del “Mar de los Sargazos” fue supuestamente otorgado por Cristóbal Colón o por alguno de los marineros portugueses que lo acompañaban. El significado botánico del término *argaço*,

probablemente deriva de *alga*, vía *argaço*, palabra sistemáticamente utilizada en documentos antiguos para designar indiferenciadamente a las algas marinas. De uso más reciente, el término *sargaço*, deriva, de acuerdo con el Diccionario de la Lengua Española, de *argaço* y del latín *Salix*, este último, nombre científico con el que se designa a los sauces conocidos coloquialmente como ‘sarga’ y cuya semejanza morfológica externa podría ser el origen de esta denominación. Otro posible término relacionado viene del portugués *sal* o *salgado*, que significa salado, de acuerdo con estudios etnográficos y lingüísticos [1]. Sea como fuere, ‘sargazo’ es el nombre genérico y coloquial con el que se denomina a las especies de macroalgas marinas; sirva como ejemplo el término ‘sargazo gigante’ (*Macrocystis pyrifera*) o ‘sargazo rojo’ (*Gelidium robustum*) con el que se conoce a dos especies de algas marinas aprovechadas en el noroeste de México. Recientemente, este término es empleado por los medios para referirse al fenómeno de arribazones masivos y recurrentes de la macroalga marina del género *Sargassum*.

El Mar de los Sargazos (Figura 1), comúnmente conocido como giro subtropical del Atlántico Norte, es una región donde una inmensa masa de agua queda delimitada por un vasto sistema de corrientes circulares que fluyen de este a oeste (Corriente Norecuatorial) y de oeste a este (Corriente del Golfo). Los vientos y el clima se combinan para dar a estas aguas una identidad muy particular; desde el punto de vista físico son aguas de mayor temperatura y salinidad, y desde el punto de vista biológico son hábitat de una gran cantidad de algas pelágicas del género *Sargassum*. El origen del *Sargassum* que habita el Mar de los Sargazos es incierto. Si bien se creía que provenía de poblaciones naturales de aguas costeras, en 1838 el botánico alemán F.J. Meyen anticipó la teoría de que los sargazos pasaban su ciclo vital en el mar abierto, que eran pelágicos, a diferencia de otras algas que crecen adheridas a las rocas. Fue hasta 1930 que A. Parr reportó que únicamente dos de las ocho variedades de sargazo encontradas en el Mar de los Sargazos componían el 90% del total de algas y todo el material analizado carecía de órganos reproductivos [2]. Es decir, que estas algas se hallaban pre adaptadas para vivir en mar abierto en una existencia flotante, cuya reproducción era asexual mediante fragmentación del talo, en donde cada segmento puede originar una nueva planta. Los primeros botánicos les dieron el nombre de *Sargassum bacciferum*, del latín *bacca* baya y del griego *pero*, llevar, es decir que lleva bayas, en alusión a las vesículas de flotación que acompañan al alga y que le permite mantenerse en la superficie y facilitar su desplazamiento y transporte por efecto de las corrientes marinas y el viento. Estas características sirvieron para que en 1927 Irving Langmuir explicara que el acomodo de las hileras de sargazos se debía al efecto de la convección o celdas verticales (celdas Langmuir) que giran perpendiculares a la superficie y que obligan a cualquier material flotante a permanecer en la superficie del mar.

Según su coloración, las masas flotantes de macroalgas marinas son conocidas en el medio científico como “mareas doradas”, cuando proliferan especies de algas pardas como *Sargassum*, o “mareas verdes” cuando están formadas por algas verdes principalmente del género *Ulva*. Estas mareas son cada vez más frecuentes y comunes y ocurren indistintamente en las costas de Asia, Europa y América. Toneladas de estas algas pueden quedar depositadas en las playas, generando eventos de arribazones masivos. Se sabe que estas arribazones son fenómenos

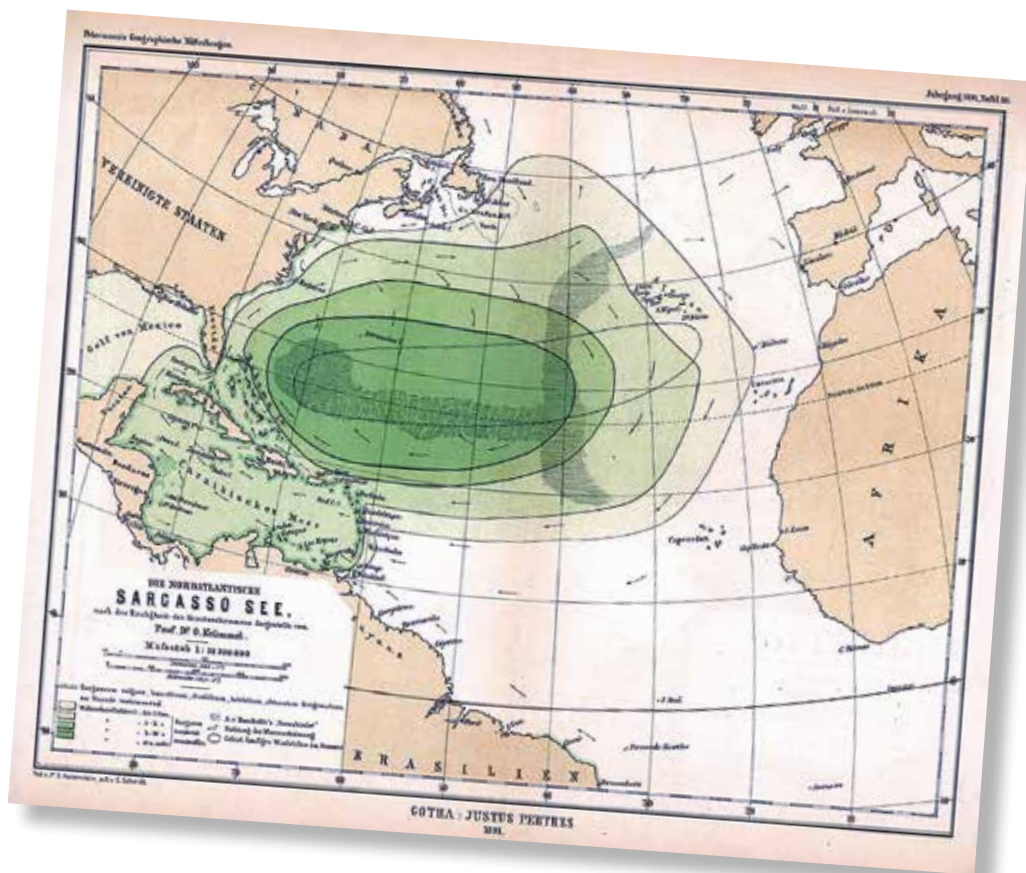


Figura 1. Mapa antiguo del Mar de los Sargazos (1891) elaborado por el Dr. Otto Krümmel.

naturales que ocurren estacionalmente y que se deben tanto a factores biológicos (ciclos de vida, reproducción y senescencia; crecimiento, elongación y aumento de biomasa), como a los efectos ambientales por fenómenos climatológicos (tormentas, corrientes, marejadas y vientos) que desprenden a las algas del sustrato donde se fijan para ser arrastradas hacia las costas. No obstante, en algunas regiones del mundo, diversos factores adicionales, como incremento en los nutrientes en el agua de mar o en la temperatura superficial del mar y cambios en los patrones de corrientes, generan acumulaciones algales masivas que producen afectaciones severas a los ecosistemas costeros. La magnitud y frecuencia de los eventos de arribazones masivas de sargazo reportados desde 2014-2015 en las costas del Caribe Mexicano no tienen parangón, y podrían tener su origen en el impacto de las transformaciones humanas en el entorno cercano a la costa, desde la eutrofización provocada por las escorrentías de los ríos Amazonas, Orinoco, Magdalena y Congo que desembocan en el océano e introducen grandes cantidades de nutrientes como producto

de la deforestación o el uso excesivo de fertilizantes en la agricultura, así como por posibles cambios en la circulación de las corrientes superficiales marinas provocadas por el incremento en la temperatura superficial del océano, o bien por el efecto combinado de ambos procesos. Lo anterior ocasiona que las algas del género *Sargassum*, que antes se encontraban casi exclusivamente al norte del Atlántico en el Mar de los Sargazos, ahora encuentren condiciones idóneas para proliferar más al sur, formando lo que recientemente se ha denominado como el “Cinturón de *Sargassum*” que se extiende desde las costas del Oeste de África hasta el Mar Caribe y el Golfo de México.

En el Mar Caribe, se reporta la presencia de dos especies pelágicas, *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans*, que en años recientes han generado impactos negativos en los ámbitos ambiental y socioeconómico. Desde las costas de Trinidad y Tobago, República Dominicana, Cuba, Colombia y las costas del Caribe Mexicano, entre 2011 y 2018 se han registrado afluencias masivas de sargazo que con el tiempo han ido en aumento. Únicamente

en las costas del Caribe Mexicano, los reportes de la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (SEMA) de Quintana Roo indican que la biomasa algal retirada de las playas ascendió a 528 mil toneladas durante 2018. Reportes más recientes calculan que la biomasa flotante que podría llegar a acumularse frente a las costas de América del Sur y potencialmente distribuirse por el Caribe ronda los 20 millones de toneladas métricas [3]. Entre los efectos adversos que genera el gran volumen de algas que recalán en la costa, destacan la erosión de playas, la disminución en la cobertura de comunidades de pastos marinos, la contaminación de playas debido a la descomposición *in situ* del material algal, la contaminación de mantos freáticos por lixiviados debido a malas prácticas relacionadas con los sitios de disposición final del alga, incluyendo afectaciones al sector turístico y las comunidades aledañas.

Cabe señalar que la biodegradación de las especies del género *Sargassum*, depende de la disolución y degradación del alginato, principal componente estructural de su pared celular, mientras que otros compuestos reactivos también afectan su degradación biológica. Sin lugar a dudas, la degradación biológica de las algas después de un evento de arribazón, puede provocar efectos adversos a la salud de los ecosistemas circundantes. En ambientes cercanos a la costa, e incluso en zonas más profundas, la tasa de degradación está determinada por factores como la accesibilidad microbiana, condiciones de temperatura y pH. Como producto de la degradación biológica de las algas pardas, se generan gases (H_2S , CO_2 , CH_4), sólidos volátiles (materia orgánica) y una alta demanda química de oxígeno (DQO). Adicionalmente, diferentes compuestos disueltos como el manitol, ácidos

grasos volátiles, alcoholes y polifenoles pueden ser liberados de sus tejidos. Las bacterias que se involucran en estos procesos generalmente usan los productos para mantener su propio metabolismo [4], mientras que algunos otros nutrientes o iones liberados pueden provocar eutrofización. De igual forma, el proceso aeróbico que convierte la materia orgánica (carbohidratos, proteínas y lípidos) en CO_2 y H_2O a través de la hidrólisis bacteriana, ocurre a expensas del consumo de O_2 originando zonas anóxicas. Adicionalmente, el metano, que deriva de la descomposición (principalmente del manitol y del alginato) también puede resultar perjudicial para el entorno.

Sin embargo, los grandes volúmenes algales que arriban a las playas tienen un gran potencial para ser aprovechados con diferentes fines, como se hace con otras especies de algas marinas, tanto en el país como en todo el mundo [5]. Sin embargo, para plantear cualquier propuesta de aprovechamiento es indispensable conocer aspectos básicos de las arribazones (Figura 2), tales como: ¿De qué forma varía espaciotemporalmente el volumen de algas que arriban a la playa?, ¿cuáles son las especies que componen dichas arribazones y en qué proporción se encuentran?, ¿existen variaciones espaciotemporales en la composición de las arribazones?, ¿cómo se reproducen estos organismos y cuál es el origen de los eventos masivos?, ¿qué sabemos acerca de la fisiología de las especies presentes? Y finalmente, información crucial para su aprovechamiento: ¿Cuál es la composición bioquímica de estas especies y cómo varía espaciotemporalmente?

En el Caribe Mexicano, las arribazones masivas han generado gran interés de la

comunidad científica, poniendo de manifiesto la urgencia de abordar los aspectos antes mencionados. Como parte de los esfuerzos para estudiar integralmente las algas del género *Sargassum* que han causado eventos de acumulación masiva en México, el Laboratorio de Fisiología Aplicada y Ficoquímica Marina del Cinvestav Unidad Mérida, lidera el proyecto "Valorización de la biomasa de arribazón del género *Sargassum* para su uso y aprovechamiento" (CONACyT PN2015-01-575).

Como parte de los resultados preliminares, se ha logrado conocer que la abundancia y composición de las arribazones en las costas de Quintana Roo varía tanto espacial como estacionalmente. Nuestras observaciones sugieren que la cantidad de biomasa de arribazón, y la forma que se deposita en la playas, no sólo depende de procesos a gran escala (corrientes marinas y vientos) que movilizan estas mareas doradas, sino también de las condiciones morfodinámicas de las playas a escala local, y que están determinadas por características como la pendiente, el oleaje, el tipo de sedimento y la presencia de elementos como roqueríos naturales, escolleras, barreras arrecifales o estructuras artificiales para el control de la erosión, entre otros, generando condiciones que promueven o afectan dichas acumulaciones. Por otro lado, se ha determinado que las arribazones estudiadas durante 2018-2019 son multiespecíficas, formadas por componentes pelágicos y bentónicos que varían en función de la localidad y de estacionalidad. Las especies pelágicas *Sargassum fluitans*, *S. natans* y un morfo tipo previamente reportado como *S. natans VIII* (pendiente de confirmar su identidad por métodos moleculares), representan el componente mayoritario de las arri-



Figura 2. Investigaciones del Cinvestav en la zona norte de Quintana Roo identificaron que las especies que llegaron son:

Hasta el 90%

Sargassum fluitans III
Sargassum natans I
Sargassum natans VIII

(Algas flotantes que arriban abundantemente en el verano)

En menor proporción

Macroalgas bentónicas
Pastos marinos

(Estas especies crecen adheridas al sustrato y son más abundantes en invierno)



Sargassum fluitans



Sargassum natans I



Sargassum natans VIII



Estas algas se originan en el Océano Atlántico y son arrastradas a las playas del Caribe por las corrientes marinas.

bazones, entre 80 y 100%, mientras que otras especies bentónicas (otras macroalgas y pastos marinos) se encuentran en menor proporción, por debajo del 20%. La variación en la composición de las arribazones sugiere que la diversidad encontrada depende de las comunidades bentónicas adyacentes a las playas, cuya biomasa se desprende y se mezcla con las especies pelágicas que provienen de las masas flotantes (mareas doradas). Cabe destacar que la variación en la composición específica de las arribazones es un factor importante para considerar en las propuestas de aprovechamiento y manejo, ya que la composición bioquímica puede ser altamente variable entre las distintas especies presentes, tales como algas rojas, algas verdes y pastos marinos. Adicionalmente, la presencia de pastos marinos, cuya descomposición

ocurre rápidamente en la playa, puede acelerar la descomposición del resto de las especies algales. Finalmente, se ha demostrado que existen diferencias en la composición bioquímica entre las especies de *Sargassum*, por lo que su abundancia relativa determinará la composición de la arribazon. Sin duda, otras preguntas quedan en el aire. Lo cierto es que entre más conozcamos este fenómeno y sus repercusiones globales, regionales y locales, su monitoreo, contención o manejo y su potencial aprovechamiento será mucho más eficiente.

Artículo publicado en línea el 10 de octubre de 2019.



Referencias

1. Cabral JP (2005) A apanha de algas na Ilha da Ínsua (Caminha) nos séculos XVII-XIX. *Singularidades e conflitos*. Finisterra XL, 80, 5-22.
2. Parr AE (1939) Quantitative observations on the pelagic *Sargassum* vegetation of the western North Atlantic. *Bulletin of the Bingham Oceanographic Collection* 6, 1-94.
3. Wang M, Hu C, et al (2019) The great Atlantic *Sargassum* belt. *Science* 365, 6448, 83-87.
4. Forro J (1987) Microbial degradation of marine biomass. En: Bird KT, Benson PH (Eds) *Seaweed Cultivation for Renewable Resources*. Elsevier, Amsterdam, 305-325.
5. Vázquez-Delfín E, Freile-Pelegrín Y, et al (2019) Seaweed resources of Mexico: Current knowledge and future perspectives. *Botanica Marina* 62, 3, 275-289.



Cráteres: de la Luna al laboratorio

Felipe Pacheco

Instituto de Física, **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**.
Egresado del Departamento de Física Aplicada, **Unidad Mérida, Cinvestav.***

Cráteres lunares

En 1609, Galileo Galilei describe detalladamente en su obra *Siderius Nuncius (Mensajero Sideral)* las observaciones astronómicas que en los dos últimos meses había logrado con el telescopio que acababa de inventar. Hasta ese entonces, se creía que la luna y los cuerpos celestes eran esferas perfectas, lo cual encajaba con la visión religiosa dominante. De sus observaciones lunares, Galileo concluyó:

“...La luna no es lisa ni regular, ni tiene forma exactamente esférica, como ha opinado la turba de filósofos, lo mismo que de otros cuerpos celestes. Todo lo contrario. Es desigual, áspera, con cavidades, con elevaciones, tal cual la tierra en su superficie, que

tiene montes y cañadas, valles y depresiones. Y éstas son las razones que me da la observación para afirmarlo...”

Las observaciones de Galileo quedaron plasmadas como la primera evidencia

documentada de depresiones circulares en la superficie lunar, las cuales ahora conocemos como “cráteres”.

La palabra cráter viene del griego *Krater* que significa “tazón para mezclar” y se acuñó debido a la similitud de las depresiones lunares con la forma de un tazón antiguo que se utilizaba para mezclar vino y agua.

a)



b)



Figura 1. a) Imagen de la Luna. Crédito: E. Trujillo-García. b) Cráteres dibujados por Galileo en el *Siderius Nuncius*, 1609.

***Felipe Pacheco** se doctoró en el Cinvestav en 2011, logrando el **premio Rosenbluth y la medalla Weizmann** por su tesis. Posteriormente ganó la prestigiosa **beca Belspo-Marie Curie** para realizar una estancia posdoctoral en la Universidad de Liège, en Bélgica. En 2021 fue galardonado con el **Premio de Investigación para científicos jóvenes de la Academia Mexicana de Ciencias**. Ver nota en Conexión Cinvestav: Premian a egresado del Cinvestav que ha estudiado cráteres de impacto.



¿Cuál era el origen de dichas depresiones en la superficie lunar? Galileo no planteó ningún origen; suficientes problemas le causó el describir algo en contra del perfecto mundo sideral de la visión cristiana dominante. Así, tuvieron que pasar varias décadas antes de que Robert Hooke propusiera en 1665 dos mecanismos: erupciones de gas o impactos. A esto se le sumó la actividad volcánica basada en observaciones terrestres. Mientras que una erupción volcánica claramente generaría un cráter, en aquel entonces se consideraba al espacio exterior vacío y la hipótesis de impactos quedó olvidada.

Durante más de 200 años la hipótesis del origen volcánico de los cráteres lunares fue dominante. Destacados astrónomos intentaron rescatar la teoría de impacto a inicios del siglo XIX, como el astrónomo alemán Franz Von Paula Gruithuisen; no obstante, unos meses antes publicó que había observado vacas pastando en las praderas lunares y un templo en forma de estrella, lo que le ganó el descrédito de la comunidad astronómica. La hipótesis de impacto retomó nuevamente fuerza a inicios del siglo pasado, cuando Alfred Weneger realizó una revisión exhaustiva de las distintas hipótesis existentes, y notó que reconocidos vulcanólogos, como Johnston-Lavis, habían destacado importantes diferencias entre los cráteres terrestres producidos por erupciones volcánicas y los cráteres lunares, por lo que descartaban la hipótesis volcánica. Basado en esto, Weneger realizó impactos a escala de laboratorio en el Instituto de Física de Marburg durante dos años (1918-1919).

La morfología de los cráteres obtenida en sus experimentos reproducía aquellas observadas en la luna: cráteres simples, con picos centrales, terrazas, borde elevados, etcétera [1]. Resultados similares se habían observado del impacto de proyectiles en pruebas militares. Por

otro lado, estudios geológicos realizados desde 1866 del cráter Barringer (Meteor Crater) en Arizona, concluyeron que ese cráter había sido formado por un meteorito de acero de unos 200 metros de diámetro. Todo apuntaba a que, como el cráter de Arizona, los cráteres lunares habían sido formados por impactos de meteoritos. Trabajos posteriores de Erns Opic, Algernon Glifford, Ralph Baldwin apuntalaron la teoría de impacto, la cual no fue totalmente aceptada sino a finales de los 60 con la llegada del hombre a la luna.

Cráteres en el laboratorio

Obviamente, el proceso de formación de un cráter por impacto de meteorito no puede estudiarse de manera sistemática a escala natural. Por tal motivo, durante las últimas dos décadas se ha estudiado el proceso a escala de laboratorio. En un experimento típico, proyectiles esféricos, sólidos o granulares, se dejan caer desde varias alturas sobre una cama plana de material granular (arena seca o húmeda). Tras la colisión, el material es expulsado desde el punto de impacto formando una cortina uniforme de granos que se dispersa radialmente, mientras se crea una depresión en el suelo que toma la forma final del cráter. Tales experimentos han demostrado que la morfología de los cráteres resultantes es muy similar a las observada en los cráteres planetarios, lo cual depende de la energía de impacto, del tamaño del grano, del factor de empaquetamiento del medio, entre otros factores [2].

Respecto a las dimensiones del cráter, se ha encontrado que su diámetro, D , escala como una ley de potencias con la energía de impacto E , con un exponente próximo a $1/4$. Dicha dependencia se ha probado válida para un rango de energía de 16 órdenes de magnitud, desde cráteres de unos cuantos centímetros de diámetro formados en una cama de arena, como en la que juegan los niños, hasta cráteres de varios kilómetros observados en las superficies de los planetas. Cuando la energía de impacto es lo suficientemente baja, la vaporización o fusión de la esfera o del material impactado no ocurre. Así, D dependerá de cuatro parámetros independientes: E , la energía perdida por la esfera durante el impacto; d , el diámetro de la esfera; ρ , la densidad del material impactado; y g , la aceleración de la gravedad en la superficie de la Tierra. Este listado de parámetros excluye explícitamente el módulo de resistencia a la fractura del material granular. Tal exclusión implica que el material granular no está consolidado y que los granos pueden separarse sin gasto de energía. Aplicando el Teorema Pi-Buckingham al conjunto de 5 parámetros (D , E , d , ρ , g) y tres dimensiones independientes (longitud, masa, tiempo), se tienen $5-3 = 2$ grupos adimensionales que pueden obtenerse por inspección: D/d y $E/\rho g d^4$. Entonces $D/d = f(E/\rho g d^4)$. Puesto que experimentos simples de impacto muestran que $D \propto E^{1/4}$, entonces $D \propto (E/\rho g)^{1/4}$ independientemente del diámetro de la esfera. Conforme la energía de impacto aumenta, se reportan pequeñas desviaciones de dicha ley de potencias.

Resumiendo: 1) los cráteres de impacto formados a escala de laboratorio siguen las mismas leyes de escalamiento con la energía que los cráteres a escala planetaria, $D \propto E^{1/4}$. 2) El material es expulsado uniformemente dejando un cráter cuya morfología es similar a la de cráteres lunares. Sin embargo, había un misterio que no había podido ser explicado o reproducido a escala de laboratorio durante las décadas de investigación de estos procesos: los llamados sistemas de rayos.



Figura 2.

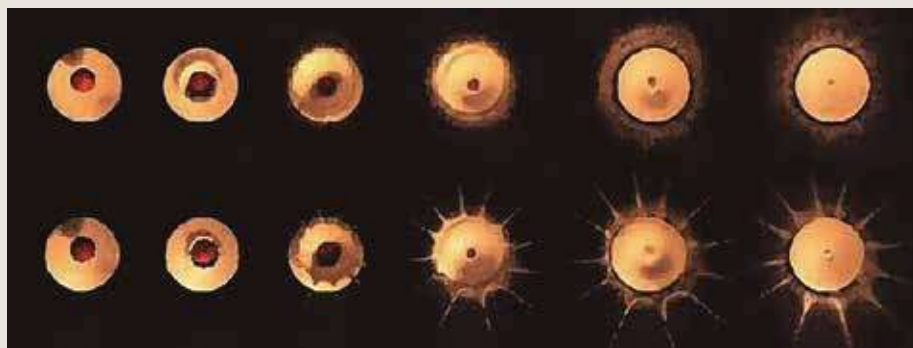


Figura 3: Comparación de la expulsión de material uniforme debido al impacto de un proyectil perfectamente esférico y el sistema de rayos producido por un proyectil con protuberancias.

Sistemas de Rayos

Cuando se observa la Luna con un telescopio, como en la Figura 1, se pueden distinguir líneas delgadas saliendo del cráter Tycho. Al conjunto de líneas se le denomina sistemas de rayos, los cuales son eyecciones de material en forma de líneas radiales que salen del punto de impacto y que se extienden considerablemente más allá del diámetro del cráter. Estas eyecciones pueden o no observarse alrededor de un cráter a escala plane-

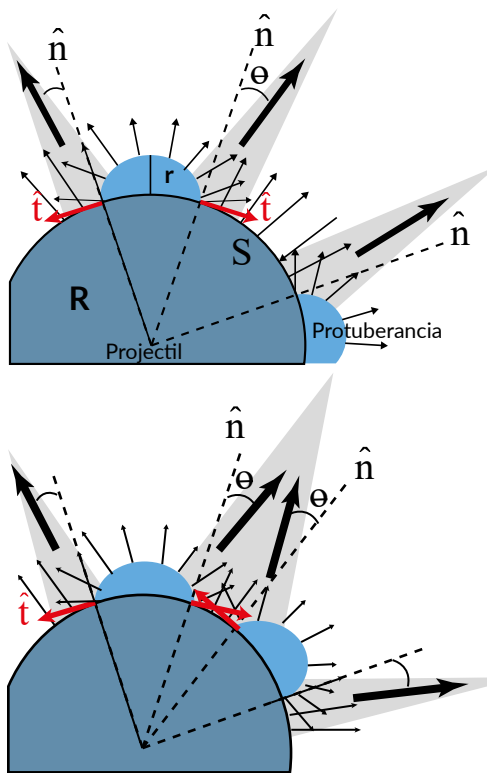


Figura 4: Esquema del proceso de formación por una esfera de radio R con protuberancias de radio r .

taria, pero no habían sido observadas a escala de laboratorio hasta muy recientemente [3,4]. Durante los últimos seis meses se ha logrado un avance importante en la comprensión del proceso que da origen a los sistemas de rayos. Experimentalmente se demostró por primera vez que existen dos condiciones bajo las cuales se producen sistemas de rayos: a) cuando un proyectil esférico impacta contra una superficie ondulada [3], o b) cuando un proyectil con curvaturas pronunciadas impacta contra una superficie plana [4]. Dichos experimentos tienen gran relevancia considerando que las superficies planetarias no son necesariamente planas y que los meteoritos no son esferas perfectas. Los sistemas de rayos son entonces producidos cuando el material es expulsado en dirección no-radial, ya sea debido a la topología de la superficie o la forma del proyectil, por lo que las eyecciones pueden converger en cierto punto y ser re-dirigidas en un solo rayo.

Nos enfocaremos aquí en los sistemas de rayos y cráteres producidos por proyectiles no esféricos, investigación que fue publicada en *Physical Review Letters* [4]. La figura 3 muestra el impacto de dos proyectiles, uno perfectamente esférico y otro con protuberancias. Nótese que el material expulsado por la esfera forma una cortina uniforme de material, mientras que el material expulsado por el proyectil con 12 protuberancias forma 12 rayos.

La figura 4a esquematiza un sistema de rayos producidos por el impacto de un proyectil con protuberancias. El diagrama indica cómo el material siempre es expulsado a la superficie del proyectil, por lo que la eyección que proviene de una protuberancia colisiona con el material expulsado por la esfera, y al converger, forman un rayo con una ligera

desviación respecto a la dirección radial, la cual puede estimarse considerando la conservación del momento lineal. Si dos protuberancias son muy cercanas entre sí, como en el diagrama de la Fig. 4b, dos rayos adyacentes pueden superponerse y generar un rayo de mayor tamaño, por ello, en el caso mostrado en la figura 3, el número de rayos coincide con el número de protuberancias.

El lector seguramente cuestionará que un meteorito real no es un proyectil con protuberancias, sino más bien un proyectil amorfo con curvaturas marcadas o con pequeñas depresiones. La figura 5, tomada de [4], muestra que un proyectil deforme es capaz de generar un cráter con dos rayos eyectados desde las curvaturas más pronunciadas de su superficie. Esto indica que los sistemas de rayos observados en la luna pudieron haber sido producidos por el impacto de un meteorito con concavidades marcadas, como por ejemplo un meteorito de acero.

Además, obsérvese en la Figura 5 que el cráter resultante tiene una forma circular independientemente de la forma del proyectil. Esto fue corroborado usando proyectiles con distinta geometría de sección transversal y variando la energía de impacto. El cráter final pierde toda la información respecto a la forma del meteorito que lo creó, debido a que la cavidad generada por el impacto se hace más profunda conforme la energía de impacto aumenta. Éste es un resultado de gran relevancia, puesto que explica por qué la mayoría de los cráteres observados en la naturaleza son circulares a pesar de que un meteorito es amorfo.



Figura 5. Cráter circular con dos rayos producido por un "meteorito" a escala de laboratorio.



Figura 6. Cráter generado por una explosión a escala de laboratorio.

Las principales aportaciones de la investigación fueron las siguientes [4]:

1. Sistemas de rayos pueden producirse por el impacto de un proyectil no esférico que hace converger el material expulsado en una sola dirección, siendo una posible explicación a los enigmáticos sistemas de rayos observados en la Luna.

2. Los cráteres se hacen circulares independientemente de la forma del proyectil conforme la energía de impacto aumenta, lo cual puede explicar porque los cráteres parecen ser circulares aun cuando los meteoritos son de forma irregular.

3. El diámetro del cráter, D , sigue una dependencia con la energía, E , tipo ley de potencias: $D \propto E^{1/4}$, independientemente de la forma del proyectil (o meteorito).

Cráteres producidos por otros mecanismos

Además de los cráteres generados por impacto de meteoritos y erupciones volcánicas, existen cráteres producidos por otros mecanismos, como los cráteres por hundimiento o "maars". Un maar es producido cuando agua subterránea entra en contacto con el magma y se evapora, el aumento de presión en la cavidad que contiene el gas es capaz de fracturar la capa de rocas; cuando el gas escapa, la superficie se colapsa generando la depresión. Los cráteres también pueden ser producidos de manera artificial mediante explosiones, como el cráter Sedan de $6.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ creado mediante la explosión de una bomba nuclear de 104 kilotonnes de TNT en Nevada, el cuál es el cráter más grande creado por el ser humano.

Dichos procesos de formación de cráteres también han sido estudiados a escala de laboratorio por nuestro grupo, utilizando materiales granulares, por ejemplo, cráteres producidos mediante explosiones de pequeñas cantidades de pólvora negra en arena [5], colapso



Figura 7. Cráter y chorro granular generado por el colapso de una cavidad presurizada.

de cavidades presurizadas localizadas a distintas profundidades de un lecho granular [6] y cráteres generados por ablación láser [7]. En el caso de explosiones y ablación láser, el diámetro del cráter escala con la energía liberada como $D \propto E^{1/3}$. Nótese el exponente $1/3$ en vez de $1/4$ encontrado para impactos.

El análisis mediante perfilometría láser de la geometría de cráteres a escala de laboratorio reveló que cráteres generados por distintos mecanismos tienen distinto perfil: los creados por impacto son parabólicos con borde elevado, los creados por explosiones tienden a ser más hiperbólicos o cónicos, y los creados por colapso de cavidades son depresiones más esféricas sin borde elevado. Así, el análisis de la geometría del cráter nos permite obtener ciertas pistas sobre el posible origen del mismo.

En resumen, el uso de materiales granulares para estudiar formación de cráteres ha sido un método de gran relevancia durante las últimas décadas. Además de dar explicación a los enigmáticos sistemas de rayos.

Artículo publicado en línea el 20 de mayo de 2019.



Referencias

1. Weneger A (1921) Die Entstehung der Mondkrater, Sammlung Vieweg, Heft 55.
2. Pacheco-Vázquez F & Ruíz-Suárez JC (2011) *Phys. Rev. Lett* 109, 218001.
3. Sabuwala T et al (2018) *Phys. Rev. Lett.* 120, 264501.
4. Pacheco-Vázquez F (2019) *Phys. Rev. Lett.* 122, 164501.
5. Pacheco-Vázquez F et al (2017) *Phys. Rev. E* 96, 032904.
6. Loranca FE et al (2015) *Phys. Rev. Lett* 115, 028001.
7. Marston JO & Pacheco-Vázquez F (2019) *Phys. Rev. E* 99 030901(R).



IRAPUATO

- Biotecnología de plantas
- Genómica avanzada



SALTILLO

- Cerámica
- Ingeniería metalúrgica
- Manufactura avanzada
- Recursos naturales y energía



GUADALAJARA

- Ingeniería Eléctrica y Electrónica
- Ciencias de la Computación



SEDE SUR

- Investigación educativa
- Farmacobiología
- Centro de Investigación sobre el Envejecimiento (CIE)



ZACATENCO

- Ciencias exactas y naturales
- Ciencias médico biológicas
- Ciencias sociales y humanidades
- Ingeniería y tecnología



ABACUS

- Matemática aplicada
- Cómputo de alto rendimiento



MONTERREY



- Ingeniería biomédica
 - Física
 - Educación

QUERÉTARO



- Ingeniería de materiales
- Computación cuántica

TAMAULIPAS



- Ciencias de la computación
 - Inteligencia artificial

MÉRIDA



- Ecología humana
 - Física aplicada
 - Recursos del mar

TLAXCALA



- Biología reproductiva

* Según el Laboratorio de Cibermetría, CSIC, España.

Mensaje del director



Dr. Alberto Sánchez Hernández

Director General del Cinvestav.

El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav) fue creado por decreto presidencial en 1961 como la primera institución pública mexicana en la que sus investigadores se dedicarían de tiempo completo a la investigación científica, la cual formaría parte de los proyectos de tesis de estudiantes inscritos en los programas de posgrado. Hoy, a 63 años de su creación, Cinvestav tiene presencia en 10 estados de la República Mexicana y cuenta con una plantilla de 594 investigadores de tiempo completo distribuidos en 12 unidades o sedes, que cultivan una amplia gama de temáticas de investigación (ver mapa). La misión principal de Cinvestav - formar recursos humanos científicos y tecnológicos de alto nivel y desarrollar investigación básica y aplicada de frontera - ha sido cumplida con creces. A través de sus programas de posgrado de excelencia, todos ellos reconocidos por el Sistema Nacional de Posgrados, el Cinvestav ha graduado a más de 17,000 Maestros y Doctores en Ciencias, muchos de ellos incorporados en el sistema de educación superior y/o de investigación del país. Cinvestav pertenece a la Secretaría de Educación Pública, cuyo apoyo sienta las bases de infraestructura y operación para que sus científicos participen en las convocatorias nacionales e internacionales de investigación, desarrollen tecnologías y soluciones innovadoras, apoyen al sector educativo e industrial, e involucren a los estudiantes de posgrado en todos los procesos. El liderazgo académico y tecnológico del Cinvestav se ve reflejado en los premios y reconocimientos que han recibido los miembros de nuestra comunidad, entre los que destacan: 37 Premios de Investigación de la Academia Mexicana de Ciencias, 27 Premios Nacionales de Ciencias y Artes, 8 Miembros de El Colegio Nacional, 6 Premios Miguel Alemán Valdés en Ciencias Médicas, 5 Premios de la Academia Mundial de Ciencias y 1 Premio Príncipe de Asturias. El Cinvestav figura dentro de las primeras tres entidades educativas con mayor patentamiento del país; le han otorgado 382 patentes nacionales y 41 extranjeras, 24 modelos de utilidad, 46 diseños industriales y 107 derechos de autor. Orgullosamente, el Cinvestav ha sido clasificado como el centro de investigación número 1 en México.* Hoy es una institución referente en nuestro país, que contribuye a la diversidad y riqueza del sector de ciencia y tecnología en beneficio de la población.

Develando los enigmas moleculares del

Axolotl

un organismo orgullosamente mexicano

■ Annie Espinal Centeno, Hugo Varela Rodríguez, Gilberto Márquez Chavoya y Luis Alfredo Cruz Ramírez

Unidad de Genómica Avanzada (LANGEBIO), Cinvestav Irapuato.



Foto: cortesía Cinvestav UGA-Langebio

¿Quién es el Axolotl?

El Axolotl (*Ambystoma mexicanum*) es un anfibio urodelo de cuerpo gelatinoso, con ojos pequeños, boca grande, dos ramificaciones branquiales plumosas, cuatro patas y una cola larga, es carnívoro y de hábitos nocturnos. Con base en su coloración, se han descrito cuatro fenotipos: los organismos silvestres tienen un color pardo-verduzco, mientras que hay variantes mutantes de color blanco leucístico, albino blanco y albino dorado (Figura 1).

El Axolotl pertenece a la familia Ambystomatidae y al género *Ambystoma*, formado por 32 especies, las cuales se distribuyen en Norte América; desde el sureste de Alaska hasta el sur de México. En México existen 16 especies endémicas, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo del Eje Volcánico Transversal, que comprende los estados de Nayarit,

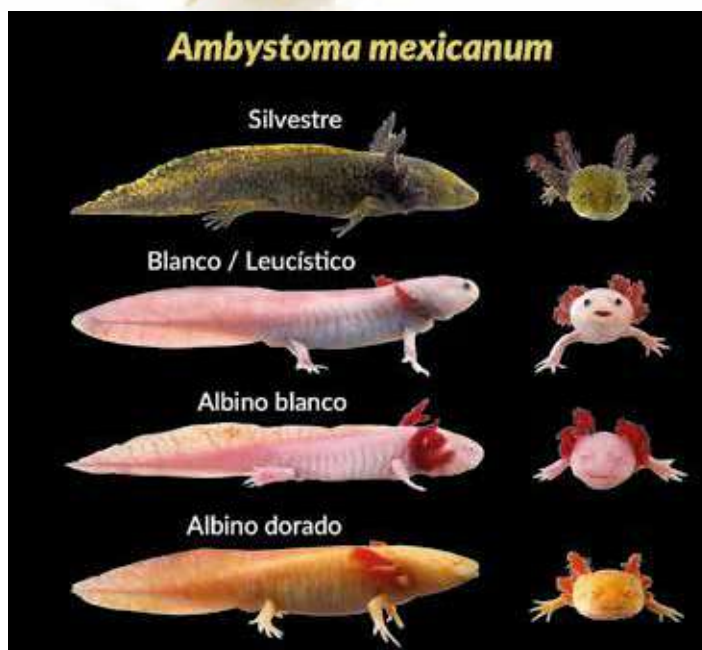


Figura 1. Fenotipos en la coloración del Axolotl. De forma general, se han reportado cuatro distintos tonos de coloración en este organismo, cuya gama va del negro-verduzco de la variedad silvestre, al blanco en las variedades leucística y albina blanca o al dorado en la variedad albina dorada. Cabe destacar que la variedad leucística no es albina, pues se producen pigmentos que se fijan sólo en los globos oculares, mientras la variedad albina blanca no presenta pigmentación alguna en el exterior de su cuerpo.

Jalisco, Colima, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Estado de México, Ciudad de México, Morelos, Tlaxcala, Puebla y Veracruz.

Una característica muy interesante del Axolotl es que conserva la morfología del estado juvenil o larvario durante toda su vida; en ese estado madura sexualmente y es capaz de reproducirse, fenómeno conocido como neotenia. Además del Axolotl, de las 16 especies endémicas de México, tres especies más (*A. andersoni*, *A. taylori* y *A. dumerilii*) son neoténico obligadas, mientras que otras son neoténicas facultativas (cambian a salamandras terrestres dependiendo de las condiciones ambientales, mediante el proceso de metamorfosis, como *A. velasci* (Figura 2), *A. silvense*, *A. rosaceum*, *A. ordinarium*, *A. lermaensis*, *A. altamirani* y *A. amblycephalum*. Finalmente, las especies *A. flavipiperatum*, *A. rivulare*, *A. bom-bipellum*, *A. leorae* y *A. granulatum* son metamórficos obligados, y se convierten en salamandras terrestres una vez que son adultos, independientemente de las condiciones ambientales.

dioses más importantes en esa cultura prehispánica. En el Códice Florentino, Fray Bernardino de Sahagún reproduce la leyenda del Quinto Sol, en la que se hace mención del sacrificio de distintos dioses para que el sol y la luna volvieran a moverse, ya que estaban pasmados en el firmamento y, según la leyenda, era signo de una catástrofe. El dios Xólotl tenía miedo a la muerte y se rehusó a sacrificarse, así que huyó y usó sus poderes de transformación convirtiéndose en una mata de maíz de dos cañas (Xólotl); el verdugo lo encontró a pesar de su metamorfosis y éste volvió a huir y se transformó en un maguey de dos pencas (Metl-xólotl). El verdugo lo reconoció otra vez y éste se refugió en el agua y se transfiguró en el Atl-xólotl. Es en esta forma que fue atrapado y sacrificado.

La siguiente parte de la leyenda la describe Dionisio Eslava Sandoval a quien se le transfirió, de generación en generación, la leyenda:

“Cuando Quetzalcóatl encontró a Xólotl recapacitó y le dijo: como te negaste a morir sacrificado para dar vida a otro elemento, toda tu vida permanecerás aquí, pero el día que tu elemento, el agua, ya no sirva, desaparecerás de la faz de la Tierra junto a la raza humana”.

En años pasados el Axolotl formaba parte de la gastronomía de los mexicanos, ya que algunas poblaciones cercanas a su hábitat preparaban diferentes platos para consumirlo, desde fritos, sopas y hasta tamales. También lo usaban para remedios basados en la creencia, casi mágica, de que puede curar desde un simple dolor muscular hasta la anemia.

***Ambystoma mexicanum* como un modelo de estudios científicos**

La regeneración es un fenómeno biológico que por mucho tiempo ha sorprendido y maravillado a los investigadores y a la sociedad en general, desde las observaciones pioneras hechas por Lazaro Spallanzani en 1768, al describir por primera vez el proceso regenerativo efectuado por las salamandras y otros organismos al ser amputadas sus extremidades, percatándose de que volvían a recuperarlas paulatinamente. Si bien la regeneración, entendida hoy en día como un evento restaurativo en el cual los organismos buscan recobrar una condición funcional o estructural similar a la inicial, es experimentada por la gran mayoría de los seres vivos en alguna de sus formas; la capacidad regenerativa es muy variable.

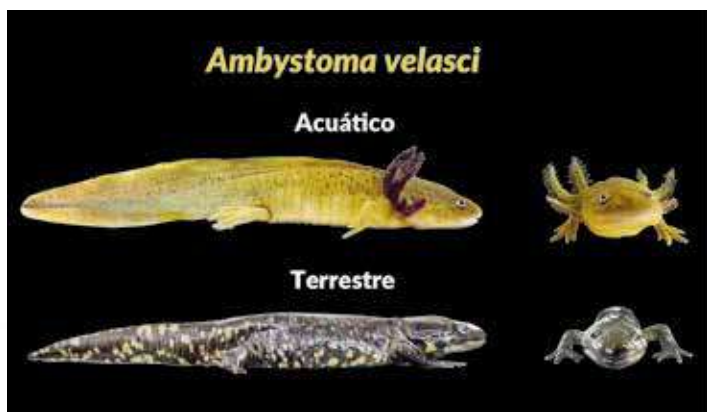


Figura 2. Etapas en el desarrollo de *Ambystoma velasci*. Al ser un organismo de naturaleza metamórfica facultativa, *Ambystoma velasci* habita en ambientes acuáticos durante su etapa larvaria, sin embargo, si se presentan condiciones desfavorables una vez alcanzada cierta madurez, esta salamandra es capaz de hacer metamorfosis y convertirse en un organismo terrestre.

El Axolotl y su relación con la cultura mexicana

En la cosmogonía Náhuatl, el Axolotl es una de las representaciones del dios Xólotl, el gemelo monstruoso de Quetzalcóatl. La palabra Axolotl es una derivación de Atl-xólotl, que a su vez proviene de la conjunción de los vocablos náhuatl Atl=agua y Xólotl=monstruo. El Axolotl es, por lo tanto, la representación acuática del monstruoso Xólotl, uno de los

El Axolotl es el modelo de estudio en vertebrados con la mayor capacidad de regeneración celular y tisular, ya que es capaz de reemplazar, tras amputación, diversas estructuras complejas como las extremidades, la cola y las branquias (Figura 3).

Además, es capaz de regenerar porciones considerables de órganos vitales, como el cerebro y el corazón, o tejidos altamente especializados como los nervios, los cuales normalmente son re-nuentes a la regeneración en mamíferos, como el *Homo sapiens*. Esta increíble habilidad regenerativa del Axolotl, lo ha colocado en la mira de los investigadores que buscan comprender los mecanismos moleculares que gobiernan los eventos regenerativos, requiriendo un análisis detallado de la regulación genómica y cómo ésta ha ido cambiando durante la historia evolutiva de los animales, con el afán de lograr en un futuro potenciar la capacidad regenerativa en otros organismos. La gran capacidad de regeneración y reparación de los tejidos que muestra el Axolotl ha sorprendido a los investigadores durante más de 150 años. El Axolotl se ha convertido en uno de los anfibios con la mayor cantidad de herramientas genéticas, genómicas y de transgénesis en nuestros días.

Avances y Perspectivas

Uno de los logros científicos más recientes y relevantes en el ámbito de la regeneración en animales vertebrados, ha sido la secuenciación completa del genoma de *Ambystoma mexicanum* a principios del presente año [1]. Esta importante contribución al conocimiento, publicada en la prestigiosa revista de difusión científica *Nature*, fue posible gracias al esfuerzo en conjunto por parte de la comunidad científica internacional, en la cual participaron diversos grupos de investigación ubicados en Alemania, Austria, China, Estados Unidos, Reino Unido, Francia y México, así como a la implementación de las nuevas tecnologías de secuenciación masiva desarrolladas en la última década.

Desde la secuenciación completa del genoma humano en 2003, cuyo tamaño ronda los 3.2 gigabases (3 mil doscientos millones de bases) y que requirió poco más de 10 años terminarla, han sido pocos los genomas totalmente secuenciados con un tamaño mayor al del humano (5 veces o más) debido principalmente a las limitaciones tecnológicas y al costo económico asociado. La secuenciación del genoma del Axolotl, con un tamaño apro-



Figura 3. La regeneración de extremidades en el Axolotl es un proceso complejo en el cual deben restaurarse los tejidos perdidos tras una amputación. El tiempo de regeneración depende de varios factores como la edad del organismo o su estado de salud, entre otros.

ximado de 32 Gigabases —10 veces más grande que el genoma humano—, constituye en sí mismo un hito tecnológico.

Entre los retos a superar, fue necesario generar millones de fragmentos secuenciados de ADN simultáneamente y de gran tamaño, con un promedio de 14 mil pares de bases utilizando la plataforma de secuenciación masiva PacBio, de tal manera que se lograra abarcar una profundidad de 32 veces el genoma completo para resolver las numerosas regiones repetitivas que caracterizan a los genomas de las salamandras y reducir la complejidad del ensamblado por computadora. Por lo tanto, un punto importante fue la creación de la infraestructura computacional adecuada y el desarrollo de un nuevo algoritmo de ensamblador que permitieran abordar el problema, ya que al carecer de un genoma de referencia previamente secuenciado, que sirviera como andamio inicial, se requirió implementar un enfoque denominado ensamblaje de *novo*, el cual se complementó

con un mapeo óptico para descartar la mayoría de los artefactos generados por tal ensamblado.

La liberación en bases públicas de esta primera versión del genoma del Axolotl, aunado a diversos esfuerzos de transcriptómica generados por nuestro grupo y algunos otros en el mundo, abre las puertas a nuevos y más sofisticados retos por parte de la comunidad científica, que favorecerán la plena implementación de las nuevas tecnologías de edición genómica desarrolladas recientemente, como el sistema CRISPR/Cas9. Éstas están encaminadas a desentrañar finamente el funcionamiento de secuencias regulatorias a nivel genético y epigenético, lo que permitirá conocer la implicación de ciertos genes o programas genéticos durante el proceso regenerativo. Estos hallazgos podrían, a su vez, repercutir paulatinamente en la instrumentación de nuevas terapias en el campo de la medicina regenerativa, y dar lugar así a la generación de órganos y estructuras biológicas complejas. Es uno de los grandes desafíos aún por asumir en este campo, lo cual requiere necesariamente de una comprensión a profundidad de los diversos programas genéticos involucrados, y los posibles mecanismos de regulación que los gobiernan durante las distintas etapas de su desarrollo.

Nuestros hallazgos potencian también el uso de este modelo en el estudio del cáncer, ya que las células y tejidos del Axolotl pueden desdiferenciarse, proliferar y rediferenciarse de manera ordenada, sin derivar en la formación de tumores malignos. A esto hay que sumar los reportes que indican que el Axolotl muestra una alta resistencia a desarrollar tumores

malignos al ser expuesto a compuestos carcinogénicos. En la actualidad, nuestro grupo de trabajo utiliza tanto el Axolotl como el *Ambystoma velasci* como modelos de estudio para investigar distintos procesos del desarrollo y moleculares antes descritos, en colaboración con grupos nacionales e internacionales.

Una especie icónica de México, y adoptada por el mundo, en el abandono

Pocos animales como el Axolotl han cautivado tanto a otras culturas e inspirado obras de arte, lo mismo en la literatura que en las artes visuales, el cómic y el cine. De ello dan cuenta Gerardo Villadelángel y Roger Bartra en la impresionante Antología *Axolotliada Vida y mito de un anfibio mexicano* [2] y la criatura central de la cinta *La forma del Agua*, ese semidiós acuático sudamericano, que es capaz de regenerarse luego de recibir múltiples impactos de bala.

De entre esas obras, el siguiente extracto de un cuento de Julio Cortázar, es una excelente metáfora sobre la paradójica relación del humano con este anfibio:

“Los Axolotl eran como testigos de algo, y a veces como horribles jueces. Me sentía tan espantosa en esos ojos transparentes. Eran larvas, pero larva quiere decir máscara y también fantasma. Detrás de esas caras aztecas inexpresivas y sin embargo de una crueldad implacable...”

Por un lado tan estudiado y admirado por artistas y científicos, por otro, tan maltratado y abandonado como especie. Hemos mencionado que el Axolotl es endémico de la región lacustre del Valle de

México. Los principales lagos y lagunas de esta zona han ido, tristemente, desapareciendo. Debido a estos drásticos cambios, el Axolotl está en una condición muy cercana a la extinción. Desde 1975, esta especie fue incluida en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES), para regular su comercio internacional. En México, está bajo protección por la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-1994) y bajo protección especial desde 2001; esta categoría cambió a en peligro de extinción en el 2010 (NOM-059-ECOL-2010). Hoy en día, el Axolotl es uno de las 51 especies prioritarias del programa de Conservación de Especies Prioritarias (PROCER). La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) cambió el estado de la especie de vulnerable a en peligro crítico en el 2006, lo que indica que esta especie se encuentra en alto riesgo de extinción.

Esta paradoja se hace aun más evidente, y hasta indignante, cuando damos cuenta que gobiernos y laboratorios de Estados Unidos de Norte América, países europeos y asiáticos, destinan cientos de veces más recursos para el estudio del Axolotl que los que destina México a su estudio y conservación. No es por falta de interés de grupos de académicos y científicos mexicanos, pues se han hecho esfuerzos importantes para conservar y estudiar al Axolotl. Pero los recursos destinados para ello son contados y raquísimos. Este maravilloso animal ha merecido, a lo sumo, que lo usen como el emoji de la CDMX, acción francamente insuficiente para lograr el rescate de una especie bandera de la conservación e ícono de la inmensa biodiversidad de México.

Artículo publicado en línea el 24 de mayo de 2018.



Referencias

1. Nowoshilow S, Schloissnig S, et al (2018) The axolotl genome and the evolution of key tissue formation regulators. *Nature*, 554, 50-55.
2. Villadelángel Viñas G (Coord.). (2011) *Axolotliada. Vida y mito de un anfibio mexicano*. Fondo de Cultura Económica, México.



En una era dominada por las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), no es de extrañar que los jóvenes de hoy tengan habilidad para manejar dispositivos móviles, tabletas y PC con su respectivo software, no sólo por su inherente curiosidad de explorar, sino porque estos sistemas están diseñados para ser accesibles y sencillos de usar. Gracias a ello, pueden efectuar fácilmente trámites en línea, realizar labores escolares, generar contenido, jugar, escuchar música, ver películas o series, *chatear*, interactuar en redes sociales, tomar clases e incluso, trabajar a distancia.

Desde hace varios años, han venido creciendo las interacciones a través de aplicaciones llamadas *chatbots*, es decir, programas capaces de conversar con personas, mediante texto o voz, utilizando diversos mecanismos de Inteligencia Artificial [1]. Esto no debería resultar extraño, pues a partir de 2020, alrededor del 80% de las empresas planeaba implementar o bien, utilizaba estas aplicaciones en la Web [2].

Poco a poco las personas se familiarizan con los chatbots. Lo más probable es que la mayoría de ellas hayan tenido algún acercamiento con estos programas, pues pueden encontrarse en diversas páginas Web y en aplicaciones móviles que se usan en las actividades cotidianas.

Por ejemplo, si en este momento usted quisiera contratar algún servicio de Internet para su hogar, posiblemente lo primero que haría es entrar a la página Web de la compañía que sea de su agrado. Al buscar algún teléfono o información relevante para ver los paquetes que se ofrecen, notará un recuadro en la esquina inferior derecha con un mensaje de bienvenida que llamará su atención: «¿En qué puedo ayudarle?». En ese momento quizá se sorprenderá y pensará que existe una persona que quiere comunicarse con usted y no querrá dejarla esperando, por lo que puede contestar con un mensaje de texto y aparecerá algún menú con opciones que probablemente le interesen. Entonces se enfrentará a una bifurcación, por lo que el flujo de la conversación podrá tornarse agradable o tal vez tormentoso. En el mejor de los casos habrá obtenido una respuesta favorable; de lo contrario desistirá y marcará a algún teléfono. Acaso encontrará una grabadora reproduciendo un mensaje que ofrece opciones y que funciona de forma muy parecida al chatbot. En raras ocasiones se le dará la opción de comunicarse con una persona.

Chatbots: llegaron para quedarse

José Fidel Urquiza Yllescas, Sonia Mendoza,
José Rodríguez y Luis Martín Sánchez-Adame

Departamento de Computación,
Unidad Zacatenco, Cinvestav.



¿Para qué usos se podría emplear un chatbot?

Fuente: Digital Marketing Community



Figura 1. Resultados de la encuesta sobre usos frecuentes de chatbots [3].

La Comunidad de «Marketing Digital» [3] (Figura 1) realizó en 2022 una encuesta que muestra los usos más frecuentes para los que se han implementado chatbots.

La opción para obtener respuestas rápidas en una emergencia encabeza la lista de la Figura 1 con 37%, lo que resulta comprensible, pues existe ofuscación y premura al momento de un percance, por ejemplo, requerir algún número telefónico, solicitar una ambulancia o llamar a una patrulla. En el otro extremo, con un 13%, hacer la compra de productos costosos fue la opción más impopular, lo que puede deberse a que, por lo general, los consumidores prefieren ver de manera física el artículo deseado e inspeccionarlo para estar completamente seguros de la operación, antes de gastar una buena cantidad de dinero.

Un aspecto de la Figura 1 que no es tan notable, pero que probablemente será una tendencia en los próximos años, es la posibilidad de hacer alguna reservación. Por ejemplo, si se desea festejar un día importante y requiere agendar un espacio para usted y sus acompañantes en un restaurante o bien, reservar una habitación para irse de vacaciones o mejor aún, usted es un viajero frecuente y quiere hacer el *check in* para su vuelo. Todo eso podrá hacerlo sin complicaciones por medio de un chatbot.

Los beneficios de utilizar los chatbots son múltiples: pueden estar disponibles las 24 horas todos los días del año. Simplifican la comunicación y son accesibles, pues pueden hallarse en páginas Web o en plataformas de mensajería como WhatsApp, Telegram o Facebook Messenger; estos últimos son muy populares y un gran número de personas están familiarizados con su uso. Otra ventaja de estas herramientas para las empresas es que pueden procesar un número considerable de solicitudes al mismo tiempo, evitando el empleo de mucho personal en tareas repetitivas y monótonas. Cuando están bien implementados, los chatbots pueden ayudar a brindar información certera y puntual, de manera constante, eficiente y eficaz.

Si bien el camino de los chatbots es prometedor, tiene algunas limitaciones. La principal es el tipo de respuesta que proporcionan, ya que aún no se perciben de manera natural. Desde el momento que se establece la interacción, se nota que es un robot el que responde, lo que puede provocar que la conversación deje de ser fluida, pues se espera que se lleve a cabo en un lenguaje más coloquial como el que tenemos con las personas que nos rodean. Tampoco muestran emociones al momento de interactuar, es decir, alguna broma o sarcasmo podría ser mal interpretado por el chatbot.

Aun con las limitaciones que puedan tener los chatbots, varios sectores apuestan por ellos. Así, pueden encontrarse en servicios al cliente y asesoramiento financiero sobre negocios y mercados de criptomonedas. Otros se destinan a responder preguntas frecuentes y hacer recomendaciones en turismo y servicios de admisión. Grandes empresas tecnológicas como Apple, IBM, Microsoft, Amazon, Google y Facebook también ofrecen chatbots en forma de asistentes personales. Además, existen chatbots especializados en atención de personas mayores, servicios médicos y adicciones al tabaco, drogas y alcohol. Incluso algunos auxilian en actividades agrícolas, educación y lucha contra la explotación infantil.

Las empresas antes mencionadas, han creado, desde hace algunos años, una infraestructura compleja para ofrecer marcos de trabajo y servicios para la construcción de chatbots. También han dedicado mucho esfuerzo en la investigación en Inteligencia Artificial, Aprendizaje Automático y Profundo, Computación en la Nube y herramientas para el desarrollo e integración con otras plataformas, con el fin de facilitar, mejorar, fortalecer y abarcar lo más que se pueda el mercado de los chatbots. Estas compañías internacionales llevan una ventaja considerable en comparación con las pequeñas y medianas empresas tecnológicas, lo que puede verse en la cantidad de usuarios, poder de procesamiento, recursos financieros, personal calificado, instalaciones, y lo más importante, una enorme cantidad de datos e información que parecería infinita.

Para que un chatbot se considere inteligente, debe ser diseñado con técnicas de aprendizaje automático y entrenado con grandes volúmenes de datos e información. No es común entrenar a un chatbot a través de la voz o audio, pues el medio predominante, hasta la fecha, es texto. Quizá en un futuro pueda cambiar esa tendencia.

En forma breve, el entrenamiento de un chatbot consiste en una serie de ensayos acierto-error, con un conjunto de frases consideradas aceptables, las cuales han de repetirse; en caso contrario —palabras y frases fuera de ese marco— se rechazarán. A través de diferentes algoritmos de aprendizaje, el desarrollador establecerá los parámetros para aceptar nuevas incorporaciones o eliminarlas, de acuerdo con las interacciones que tenga el chatbot con los usuarios.

La Inteligencia Artificial parece ser el tópico prevalente que se trata de implementar en diversos ramos; desde en el arte hasta en la medicina, pueden encontrarse herramientas que parecen salidas de una historia de ciencia ficción.

Aunque los chatbots sean un tópico muy popular hoy en día, no hay que olvidar que tienen una larga historia. Uno de los primeros hitos fue *ELIZA*, un programa de procesamiento del lenguaje natural desarrollado en el laboratorio de Inteligencia Artificial del MIT en la primera mitad de la década de los 60. Avanzando en el tiempo, concretamente a octubre de 2010, podremos encontrar la primera aparición de *Siri*, el primero de los «asistentes virtuales» que hoy están bien afianzados en diversos ecosistemas. Tal sería el impacto de *Siri*, que cuatro años más tarde, Amazon y Microsoft lanzarían sendos asistentes: *Alexa* y *Cortana*. Google no se quedaría atrás y en 2016 presentaría su propio agente. Hasta 2022, *Alexa* se encumbraría como el más popular, pues con más de 28,000 dispositivos compatibles, deja atrás a Google y a Apple con 10,000 y 250 respectivamente.

Se puede discutir la verdadera valía de los asistentes virtuales, pues hasta la fecha su uso más extendido está en interacciones muy sencillas, como preguntar por el clima, reproducir música o crear un temporizador. Esto quizá está por cambiar radicalmente. Hacia finales de 2015 en San Francisco se fundaría OpenAI, un laboratorio de investigación en Inteligencia Artificial. No culpamos a nadie si el nombre de esta compañía no resulta familiar, sin embargo, sus productos han causado gran revuelo en los últimos meses, así que serán fácilmente reconocibles. El primero es *DALL-E*, un modelo de aprendizaje profundo que crea imágenes a partir de descripciones textuales ¿Se quiere un gráfico detallado de un animal como si fuera hecho por un profesional? ¿Qué tal una «fotografía» de una celebridad haciendo surf en un mar extraterrestre mientras bebe un Martini? Basta describir a *DALL-E* estos escenarios para que nos proporcione algunas aproximaciones que hasta entonces sólo vivían en

nuestra imaginación. El segundo producto, que está más relacionado con el tema que nos atañe, es *ChatGPT*.

ChatGPT (Transformador Generativo Preentrenado, por sus siglas en inglés), lanzado en noviembre de 2022, es un chatbot modelado a partir de más de 175 millones de parámetros y entrenado con una enorme cantidad de texto (todo anterior a 2021), lo que le permite comprender y generar contenidos similares a los hechos por humanos. Puede utilizarse para diversas tareas de procesamiento del lenguaje natural, como la traducción de idiomas, resumir textos y responder preguntas. Sin embargo, lo más impresionante es que puede adaptarse a tareas específicas, como escribir sonetos, canciones, documentación técnica, cuentos y programas en diversos lenguajes de programación. Si esto parece poco, *ChatGPT* se ha listado como coautor en recientes artículos científicos.

Algunas personas han ponderado la posibilidad de que sea capaz de completar exitosamente una prueba de Turing, es decir, que un usuario no sepa distinguir si está conversando con otra persona o con una inteligencia artificial, sin embargo, esto es un despropósito. En primer lugar, porque no existe una prueba de Turing estándar, dando lugar a que el éxito dependa de quién y cómo se haga este ensayo. En segundo lugar, se especula que *ChatGPT* evade este tipo de pruebas, en otras palabras, sus creadores lo limitan explícitamente en ese ámbito.

Se podrían tener varias discusiones sobre las implicaciones que tienen este tipo de avances. Ciertamente las preocupaciones éticas tienen prioridad; se ha publicado en distintos foros sobre inquietudes como de dónde provienen los datos de entrenamiento y los sesgos que están presentes en los algoritmos de aprendizaje. Parece ser que hemos olvidado algunas lecciones del pasado, pues en la filosofía, por ejemplo, se ha planteado que la objetividad no existe, así que darle una característica no humana a una creación artificial, que pretende imitar a un humano, podría parecer una exigencia excesiva. En IBM lo tenían muy claro desde 1979, pues alguien rescató una frase de una presentación que, en español, sería algo como «una computadora nunca puede considerarse responsable; por lo tanto, una computadora nunca debe tomar una decisión». Si retomamos el ejemplo de *ChatGPT* como autor de un artículo científico, es sencillo tomar una posición basada en la frase que citamos, además de que la mayoría de los foros de

publicaciones científicas dejan claro que un autor es aquella persona que contribuyó —académicamente— de manera sustancial en la elaboración del artículo y que puede hacerse responsable del mismo o al menos, de la parte en la que ayudó.

Tal parece que *ChatGPT* apunta a crear una revolución en los chatbots. En consecuencia, se pueden mencionar algunos aspectos característicos importantes, tan solo en el área de Inteligencia Artificial, en los que se espera una mejora en los chatbots en los próximos años:

- **Interacción texto o voz:** el texto predomina, aunque la voz gana terreno debido a los avances en su procesamiento, además de que es la interacción más fácil e inmediata.
- **Seguridad:** si bien la interacción por voz puede facilitar la comunicación, se tiene el inconveniente de la privacidad. Al utilizar un chatbot, se espera que ofrezca cierto anonimato, pues puede haber ocasiones en las que se toquen temas delicados.
- **Empatía y manejo de emociones con el usuario:** los chatbots aún son débiles en este aspecto. Sin embargo, la mejora de esta funcionalidad permitirá ayudar a conocer y ofrecer un mejor servicio.

- **Lenguaje natural:** aquellos chatbots que requieran el uso de algún comando o instrucción para interactuar están condenados al fracaso. Imagine comunicarse como lo hace en su vida cotidiana e incluso bromear con el chatbot. Estas funcionalidades seguramente mejorarán la experiencia de usuario.

- **Recordar conversaciones y aprender de ellas:** por lo general, los chatbots no recuerdan las conversaciones que tienen con los usuarios; mucho menos pueden aprender de ellas. Sin duda, este es uno de los elementos más importantes en los que debe trabajarse.

Estamos viviendo un punto de inflexión, pues la Inteligencia Artificial parece ser el tópico prevalente que se trata de implementar en diversos ramos; desde en el arte hasta en la medicina, pueden encontrarse herramientas que parecen salidas de una historia de ciencia ficción. Es cierto que se tienen que discutir las posibles implicaciones éticas y legales que estos novedosos mecanismos traen consigo, por lo que tomaremos la posición de que hay que ser cautamente optimistas. Mientras las aplicaciones de Inteligencia Artificial se encuentren en el control de los usuarios, puede hablarse de Inteligencia Aumentada, es decir, las

aplicaciones deben permitir la concepción de ideas más complejas, aumentar su calidad de vida, potenciar su creatividad y capacidades para que lo que hasta ahora es inverosímil, se aproxime al terreno de lo posible. Los chatbots tienen este potencial, pues no hay que reflexionar mucho para prever las maravillas que nos permitiría tener un pequeño genio de bolsillo al que le podamos consultar sobre casi cualquier tema. No obstante, aún estamos a años de distancia de esa visión.

La Inteligencia Artificial no es la única disciplina a considerar en el desarrollo de chatbots. Por una parte, como se mencionó, el aspecto ético y mantener el control del usuario son del dominio de la Interacción Humano-Computadora.

Por otra parte, cuando varias personas trabajan no sólo con, sino a través del chatbot, el Trabajo Colaborativo Soportado por Computadora es la rama que aporta a la materia. De la misma manera, cuando un agente conversacional puede utilizarse en una PC y en diversos dispositivos móviles, el componente involucrado es el Cómputo Ubicuo. Todas estas ramas de las Ciencias de la Computación son necesarias para lograr un desarrollo integral que resulte en un producto valioso.

Hace quince años, con la llegada de los teléfonos inteligentes, todos querían desarrollar aplicaciones móviles; tendencia que se ha mantenido vigente por más de una década. Hoy, la predisposición ha venido cambiando, pues los chatbots han cobrado un papel importante, por lo que quizá estemos al filo de un cambio de paradigma.

Artículo publicado en línea el 31 de enero de 2023.



Referencias

1. Marcondes FS, Almeida JJ, et al (2018) Chatbot Theory. En Yin H et al (Ed.), *Intelligent Data Engineering and Automated Learning - IDEAL*. Springer International Publishing.
2. Kar R & Haldar R (2016) Applying Chatbots to the Internet of Things: *Opportunities and Architectural Elements*. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7,11.
3. <https://www.digitalmarketingcommunity.com/>



Las células cebadas y su papel en la

inflamación

Daniel Guerrero Morán y
Claudia González Espinosa

Departamento de Farmacobiología,
Sede Sur, Cinvestav.

El sistema inmune comprende el conjunto de moléculas, células, tejidos y órganos encargados de defender al organismo contra agentes infecciosos (virus, bacterias, parásitos y hongos), y realizar labores de vigilancia contra células ajenas y tumorales, daño tisular, enfermedades autoinmunes y alergias. Cuando los elementos de este sistema brindan una respuesta efectiva y coordinada que mantiene la homeostasis, se puede hablar de una respuesta inmune exitosa. Estas respuestas del sistema inmune pueden ser innatas o adaptativas. Las primeras dependen de células y moléculas con las que nacemos y se mantienen relativamente constantes a lo largo de nuestra vida. Por su parte, las respuestas inmunes adaptativas cambian dependiendo de los encuentros que nuestro organismo tenga con agentes patógenos o distintas moléculas extrañas (llamadas antígenos).

Una de las respuestas más importantes de la inmunidad innata es la inflamación. Tiene como finalidad iniciar una respuesta de defensa contra patógenos y daño tisular. Usualmente es la primera en aparecer ante el reconocimiento de moléculas extrañas y, en su proceso de resolución, normalmente lleva a la reparación de las estructuras afectadas.

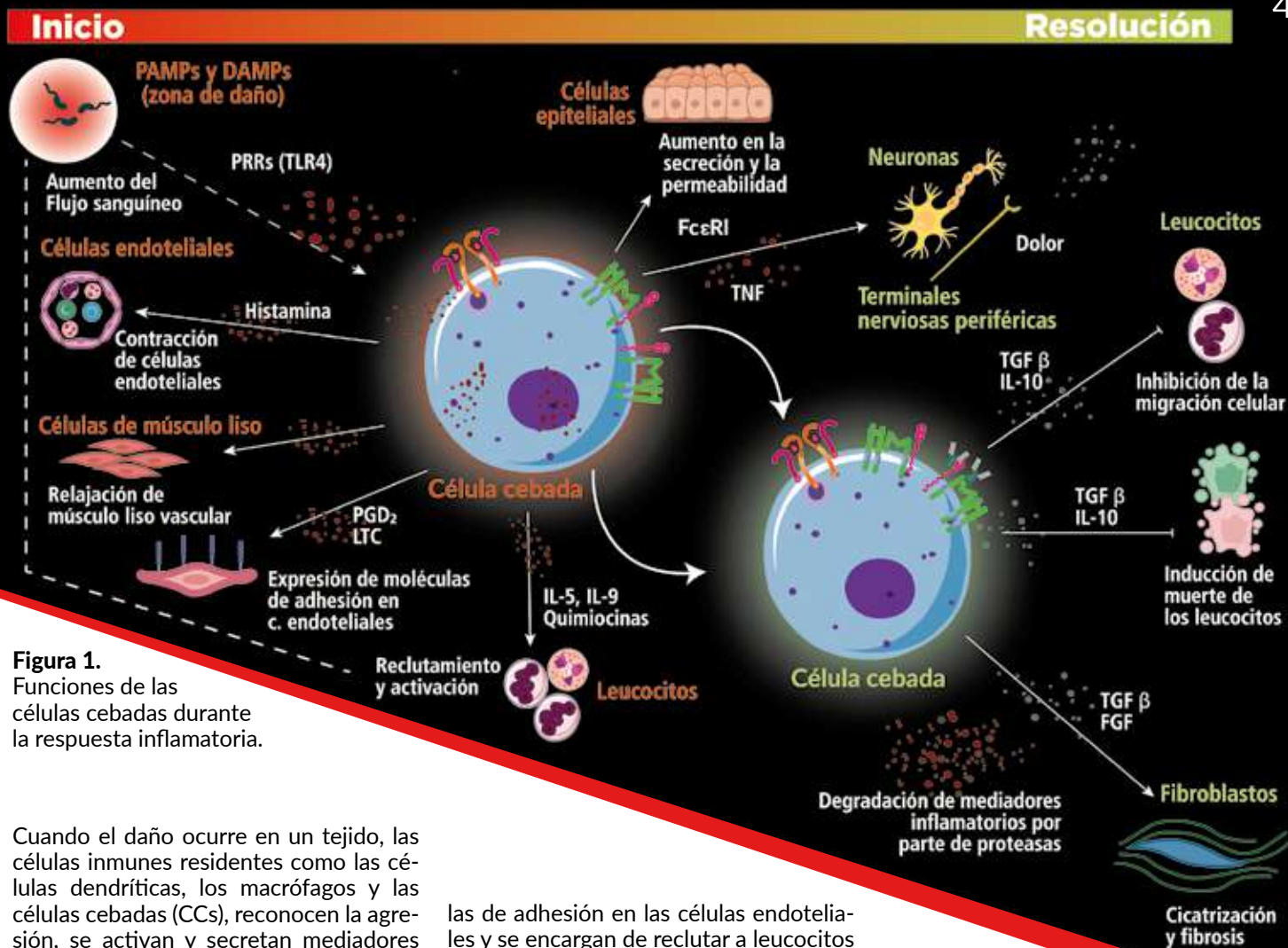


Figura 1. Funciones de las células cebadas durante la respuesta inflamatoria.

Cuando el daño ocurre en un tejido, las células inmunes residentes como las células dendríticas, los macrófagos y las células cebadas (CCs), reconocen la agresión, se activan y secretan mediadores que alertan a las células próximas. Tras la liberación de los mediadores inflamatorios, sucede una serie de eventos vasculares, hemodinámicos, neurológicos e inmunológicos. Por ejemplo, en los vasos sanguíneos, los mediadores con propiedades vasodilatadoras (como la histamina) inducen la relajación de las células de músculo liso de las arteriolas, además de la separación de las células endoteliales de los capilares. Ello conduce al aumento del flujo sanguíneo a la zona lesionada y al incremento de la permeabilidad de dichos vasos.

Como consecuencia de los cambios vasculares, un exudado rico en proteínas plasmáticas como globulinas, fibrinógeno y moléculas del sistema del complemento sale en dirección al espacio intersticial. En este punto, algunos mediadores inflamatorios (como las prostaglandinas) activan a las terminales nerviosas cercanas ocasionando dolor, mientras que otros mediadores con capacidad quimiotáctica (como las quimiocinas) o pro-inflamatoria (como el factor de necrosis tumoral, TNF- α) inducen la expresión de moléculas

de adhesión en las células endoteliales y se encargan de reclutar a leucocitos a la zona de lesión.

Todos los cambios descritos tienen como finalidad permitir que los leucocitos y las proteínas plasmáticas que llegan a la zona de daño, neutralicen y eliminen la agresión, reparando el tejido. En condiciones normales, la inflamación es un proceso transitorio que está estrechamente regulado, de tal forma que, durante la fase final de la respuesta (resolución), se establecen procesos celulares que contrarrestan los fenómenos iniciales. Para conseguirlo, algunas células reguladoras secretan interleucinas (ILs) como la IL-10 y el factor de crecimiento transformante β (TGF- β), que inhiben la migración de leucocitos, e incluso pueden inducir su muerte. También, en esta etapa, algunas enzimas liberadas al inicio de la respuesta comienzan a degradar los mediadores inflamatorios y otras proteínas, contribuyendo al término de la misma. Cuando la fase de resolución no es exitosa y la respuesta inflamatoria es demasiado intensa o prolongada, aparecen distintas enfermedades, dentro de las que podemos encontrar el síndrome de respuesta

inflamatoria sistémica, la osteoartritis, la aterosclerosis, la fibrosis de tejidos y diversas enfermedades metabólicas, entre otras. Cabe destacar que la respuesta inflamatoria cambia dependiendo de la edad del individuo, por lo que tiene características únicas en la vejez.

Debido a la importancia de la inflamación, algunas líneas de investigación se han enfocado en conocer las interacciones celulares y los procesos moleculares que tienen lugar durante escenarios fisiológicos y patológicos de este mecanismo de defensa. Gracias a ello, se ha podido extender nuestro conocimiento de los mecanismos reguladores de la inflamación, detallar eventos celulares y proponer potenciales blancos terapéuticos.

Las células cebadas participan en las distintas etapas de la inflamación

En décadas recientes, un tipo celular que ha cobrado relevancia dado su carácter

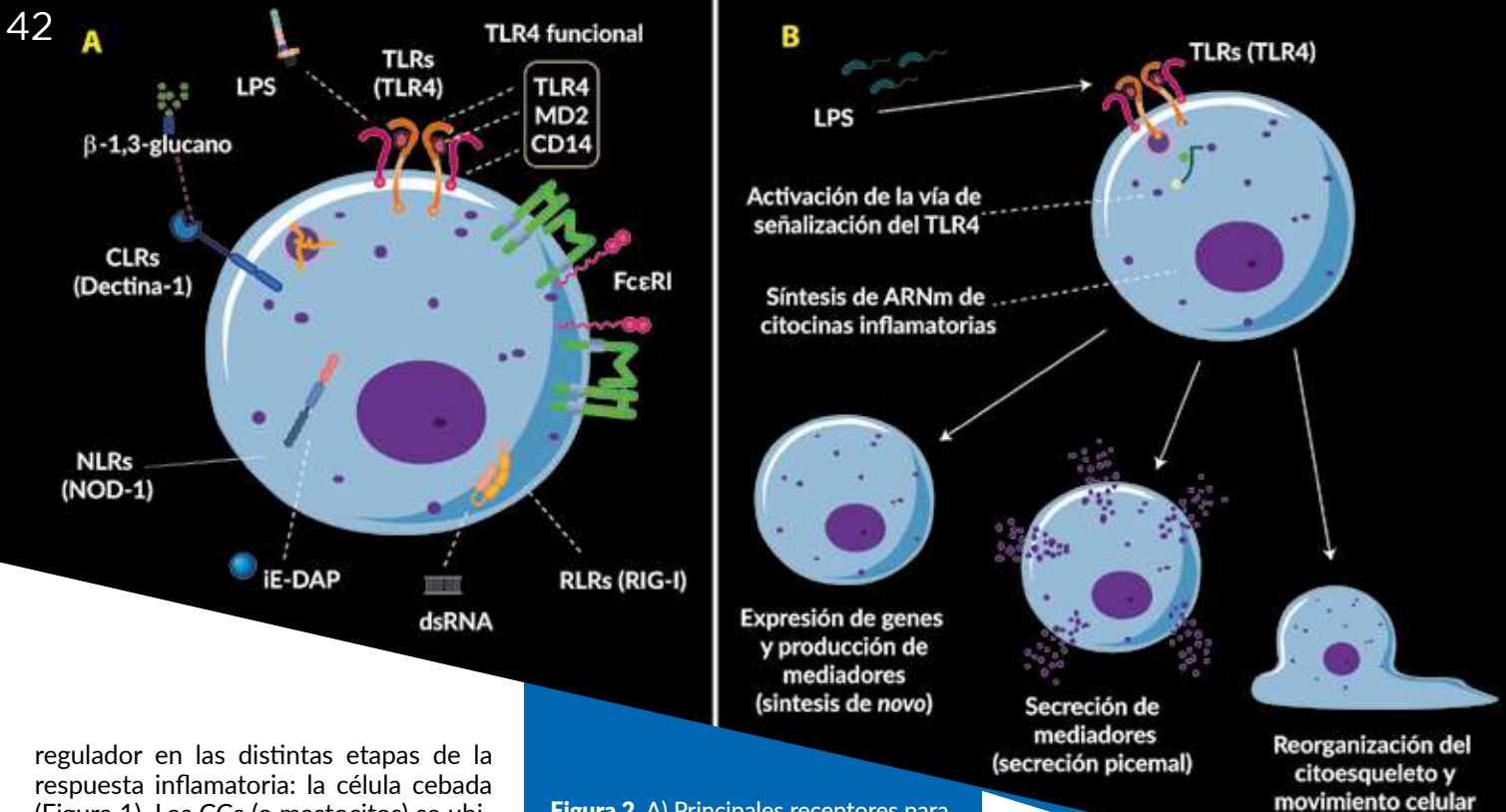


Figura 2. A) Principales receptores para anticuerpos y PRRs expresados en las CCs, con sus ligandos más conocidos; B) Procesos celulares desencadenados por activación del receptor TLR4 en CCs. TLRs, receptores de tipo Toll; TLR4, receptor de tipo Toll 4; LPS, lipopolisacárido; CLRs, receptores de lectina tipo C; NLRs, receptores tipo NOD; iE-DAP, ácido gamma-D-glutamil-meso-diaminopimélico; dsRNA, ARN de doble cadena; RLRs, receptores de tipo RIG-I; ARNm, ARN mensajero. Imagen creada con BioRender.com.

regulador en las distintas etapas de la respuesta inflamatoria: la célula cebada (Figura 1). Las CCs (o mastocitos) se ubican en todos los tejidos del cuerpo, con especial abundancia en el tejido conjuntivo. Se caracterizan por tener un tamaño variable (de 5 a 20 μ m) y presentar un aspecto granular debido a la presencia de abundantes vesículas intracelulares donde se almacenan distintos mediadores inflamatorios, como citocinas, factores de crecimiento, histamina, serotonina, derivados de ácido araquidónico y proteasas. Gracias a la capacidad de secretar ese amplio abanico de mediadores, las CCs pueden regular a las células circundantes en distintos puntos del proceso inflamatorio. Por ejemplo, al inicio y durante el establecimiento de la respuesta, las CCs secretan al TNF- α , histamina, prostaglandinas, leucotrienos, triptasa y otras proteasas con el objetivo de conducir a los fenómenos previamente descritos, mientras que, al final de la respuesta inflamatoria, las CCs secretan citocinas reguladoras como IL-10 y lípidos bioactivos, como endocannabinoides, con el objetivo de disminuir y detener los cambios iniciales y restablecer la homeostasis previa a la agresión.

Durante la fase inicial, la CC reconoce señales de daño gracias a receptores especializados denominados receptores de reconocimiento de patrones (PRRs). La interacción entre los PRRs y sus ligandos conduce a la activación de la CC y la liberación de múltiples mediadores que pueden influir sobre distintos tipos celulares próximos, e inducir cambios vasculares,

hemodinámicos, neurológicos e inmunológicos. En la fase de resolución, las CCs y las células reclutadas pueden contribuir a la contención de la respuesta por medio de la secreción de citocinas reguladoras.

Como otras células del sistema inmune, las CCs se forman durante el proceso de hematopoyesis. En el periodo embrionario y fetal, esta fase ocurre en la región mesonefros-aorta-gonadal, placenta, saco vitelino e hígado, mientras que, en el periodo postnatal, la hematopoyesis tiene lugar en la médula ósea. En el proceso surgen precursores de células cebadas (CCp) que migran hacia los distintos tejidos y terminan su diferenciación bajo la influencia de mediadores producidos localmente. Gracias a esta particularidad, el microambiente en el que culmina el proceso de diferenciación es especialmente relevante, dado que influye sobre la expresión de genes específicos

y dota de un fenotipo particular a las distintas poblaciones de CCs maduras en los tejidos.

Tradicionalmente, las CCs son reconocidas por su participación clave en las reacciones alérgicas. Esto se debe en gran medida a su carácter secretor y que expresan de forma constitutiva al receptor de alta afinidad por la inmunoglobulina E (IgE), el Fc ϵ RI. En presencia de IgE aumenta la expresión del Fc ϵ RI y forma complejos con la inmunoglobulina. Cuando un antígeno específico es reconocido por la IgE se produce la agregación y activación de complejos IgE- Fc ϵ RI que conducen a la activación de vías de señalización al interior de la CC, que culminan en la producción de algunos mediadores inflamatorios y en la liberación intensa y rápida de los mediadores preformados y recién sintetizados en un proceso celular conocido como desgranulación anafiláctica. La liberación de los mediadores inflamatorios es la responsable de los signos clínicos inmediatos de las respuestas inflamatorias alérgicas, como rubor, edema, dolor y aumento de la temperatura local. En años recientes, se ha encontrado que estas células también participan en las respuestas inflamato-

rias de la inmunidad innata y están relacionadas con la aparición y progresión de enfermedades crónico-degenerativas.

Mecanismo molecular de reconocimiento y respuesta de las CCs ante el daño y la infección

Distintos estudios han mostrado la importancia de este tipo celular en la defensa contra diversos patógenos. Por ejemplo, diferentes cepas de ratones carentes de CCs son mucho más susceptibles de morir por infecciones con respecto a los ratones normales. Además, sabemos que las CCs tienen la capacidad para identificar a las moléculas producidas por el daño tisular. Éstas se han clasificado en dos categorías principales: aquellas denominadas “patrones moleculares asociados a daño” (DAMPs) y las llamadas “patrones moleculares asociados a patógenos” (PAMPs). Los DAMPs son moléculas endógenas que se producen como respuesta a un daño o salen de las células rotas (por ejemplo: proteínas mal plegadas, péptidos con formil-metionina, proteínas chaperonas, ácido desoxirribonucleico, etcétera). Por su parte, los PAMPs son elementos estructurales comunes en diferentes tipos de patógenos, como bacterias, virus, parásitos y hongos.

Tanto DAMPs como PAMPs son reconocidos por un grupo de receptores denominados receptores de reconocimiento de patrones (PRRs). Por sus rasgos estructurales y mecanismos de señalización, los PRRs se han agrupado en familias, entre las cuales podemos encontrar a los receptores tipo Toll (TLRs), los receptores de lectina tipo C (CLRs), los receptores de tipo NOD (NLRs), los receptores tipo RIG-I (RLRs) y los receptores de productos de glicación avanzada (RAGE), entre otros (Figura 2). En las CCs se ha reportado, hasta ahora, la presencia de todos ellos. Cada familia de receptores parece participar en respuestas específicas, por ejemplo, los CLRs son importantes en la defensa contra los hongos, los NLRs intervienen en la detección de peptidoglicanos y otros compuestos bacterianos que entran a las células y los RLRs contribuyen a la detección de genomas virales.

Los TLRs son los PRRs mejor descritos hasta ahora en CCs. Estos receptores son un grupo de proteínas transmembranales que permiten el reconoci-

En la actualidad se investigan las vías de señalización para generar conocimiento en la defensa contra patógenos, el crecimiento tumoral, la neuroinflamación y el envejecimiento, que permitan controlar reacciones inflamatorias de alta intensidad que puedan dañar al organismo

to de un rango amplio de moléculas que incluyen: el lipopolisacárido (LPS) de las bacterias gramnegativas, el ácido lipoteicoico y el peptidoglicano (PGN) de las bacterias grampositivas, los lipoarabinomananos presentes en micobacterias, la flagelina y las lipoproteínas bacterianas, el ARN de cadena simple y el ARN de cadena doble de los virus, proteínas de choque térmico (HSP), fosfolípidos oxidados y proteínas que unen calcio (como las proteínas S100), por citar algunos ejemplos. La interacción entre los PRRs y sus ligandos es muy importante debido a que desencadena la activación de vías de transducción de señales al interior de las células e inician la inflamación. Por ejemplo, cuando una bacteria gramnegativa entra al organismo, las CCs pueden reconocer al patógeno gracias al TLR4 expresado en su membrana, lo que ocasiona la activación de vías de señalización que conducen a la expresión de genes, la producción de mediadores inflamatorios y cambios en la reorganización del citoesqueleto para la secreción del contenido vesicular y el movimiento celular. Gracias a ello, las CCs pueden iniciar y amplificar la respuesta inflamatoria y desencadenar los cambios vasculares, hemodinámicos, neurológicos e inmunológicos que la caracterizan.



El papel regulador de este tipo celular se ha observado también en la reacción inflamatoria desencadenada por el virus SARS CoV2, donde se ha detectado la activación de las CCs en distintos órganos de pacientes afectados, lo que contribuye a la tormenta de citocinas observada en el COVID-19. Finalmente, en la fase de resolución, las CCs pueden auxiliar en el decaimiento de la respuesta inflamatoria por medio de la secreción de IL-10 y proteasas.

A diferencia de la desgranulación anafiláctica inducida por la activación del receptor FcεRI, la secreción de mediadores activada por el TLR4 en las CCs ocurre debido a un mecanismo llamado secreción picemal, que consiste en la liberación de pequeñas vesículas desde los gránulos citoplasmáticos hacia el exterior de la célula y donde no existe fusión de los gránulos con la membrana plasmática.

Debido al importante papel modulador de las CCs en las distintas fases de la respuesta inflamatoria, este tipo celular es el blanco de múltiples investigaciones en el mundo; las más relevantes son: el control farmacológico de su activación en las alergias y los procesos moleculares que se activan por distintos PAMPs y DAMPs. En la actualidad, en el Cinvestav se investigan las vías de señalización que son activadas por los PRRs en las CCs, para generar conocimiento de frontera sobre su participación en la defensa contra patógenos, el crecimiento tumoral, la neuroinflamación y el envejecimiento, esperando desarrollar estrategias terapéuticas que permitan controlar el inicio de reacciones inflamatorias de alta intensidad que puedan dañar al organismo y ocasionen la aparición de enfermedades crónico-degenerativas, sin afectar las respuestas inflamatorias protectoras. Utilizando distintos modelos *in vitro* e *in vivo*, se han identificado moléculas nuevas que participan en el sistema de señalización del receptor TLR4 en ese tipo celular, como la proteína Huntingtina, que controla el tráfico vesicular del re-

Glosario

Células ajenas: células que no expresan sobre su superficie a las moléculas de reconocimiento propias del individuo.

Espacio intersticial: espacio físico comprendido entre células, lleno de líquido y proteínas de sostén como colágeno y elastina.

Hematopoyesis: proceso de generación y desarrollo de células sanguíneas a partir de una célula precursora pluripotencial, que ocurre en tejidos específicos en las diferentes etapas del individuo.

Homeostasis: estado de equilibrio en los diversos procesos fisiológicos de un organismo que alude a un correcto funcionamiento del mismo.

Microambiente celular: conjunto de células, moléculas y estructuras que rodean a una célula puntual o a un espacio tisular concreto y forman un ambiente local altamente dinámico.

Patógeno: microorganismo capaz de provocar daño o enfermedad en otro organismo.

Región mesonefros-aorta-gonadal: región del mesodermo que se desarrolla durante el periodo embrionario de distintas especies como ratones y humanos. Es una región de suma importancia debido a que origina a las primeras células hematopoyéticas pluripotenciales de vida media larga para la vida postnatal.

Tejido conjuntivo: también conocido como tejido conectivo, es el tejido especializado que brinda sostén y cohesión a los demás tejidos del organismo.

Tormenta de citocinas: respuesta inmunológica descontrolada en la que se produce un exceso de citocinas de forma rápida y que desequilibra el correcto funcionamiento del organismo, generando enfermedad y teniendo el potencial de ser letal.

ceptor y medía la secreción de citocinas pro-inflamatorias. Además, se han descrito enzimas involucradas en la síntesis de lípidos bioactivos que contribuyen a la resolución de la inflamación. En la actualidad se investiga de manera muy activa el papel de las células cebadas en las enfermedades crónicas, cuyo desarrollo se incrementa con la edad, como la artritis y el crecimiento tumoral.

Artículo
publicado en
línea el 28 de
enero de 2022.



Abreviaturas

PAMPs: patrones moleculares asociados a patógenos.

DAMPs: patrones moleculares asociados a daño.

PRRs: receptores de reconocimiento de patrones.

TLR4: receptor tipo Toll 4.

IL-5: interleucina 5.

IL-9: interleucina 9

PGD2: prostaglandina D2,

LTC: leucotrieno C4.

TNF: factor de necrosis tumoral-α.

TGFβ: factor de crecimiento transformante beta.

IL-10: interleucina 10.

FGF: factor de crecimiento de fibroblastos.

Referencias

- Agier J, Pastwinska J, Brzezinska-Blaszczyk E (2018). An overview of mast cell pattern recognition receptors. *Inflammation Research*, 67, 737-746.
- Dahlin J, Hallgren J (2014). Mast cell progenitors: origin development and migration to tissues. *Molecular Immunology*, 63 (1) 1-9.
- Duraisamy K, Selvakumar GP, et al (2020). COVID-19, Mast Cells, Cytokine Storm, Psychological Stress and Neuroinflammation. *The Neuroscientist* 26, 402-414.
- Espinosa-Riquer ZP, Segura-Villalobos D, et al (2020). Signal transduction pa-

thways activated by innate immunity in mast cells: translating sensing of changes into specific responses. *Cells* 9, 2411.

Heazlewood S, Nilsson S, Cao B (2020). Advances in stem cells and their niches. *Cambridge, United States, Elsevier*.

Jimenez M, Cervantes-García D, et al (2021). Responses of mast cells to pathogens: beneficial and detrimental roles. *Front Immunol* 12, 685865.

Pastwinska J, Agier J, et al (2017). Mast cells as the strength of the inflammatory process. *Polish Journal of Pathology*, 68 (3), 187-196.

Serhan, C. N., Gupta, et al (2020). The atlas of inflammation resolution (AIR). *Molecular Aspects of Medicine*, 74, 1-22.

Pasaporte al aprendizaje:

cursos de matemáticas en línea para bachillerato

Luz Manuel Santos Trigo

Departamento de Matemática Educativa, **Unidad Zacatenco, Cinvestav**

El confinamiento social impuesto como medida para controlar la propagación de la pandemia COVID-19, ha generado cambios y ajustes importantes en los ambientes de aprendizaje en todas las disciplinas alrededor del mundo. Los escenarios híbridos que combinan el trabajo remoto y las clases presenciales, apuntan hacia un nuevo modelo para estructurar y promover el desarrollo y construcción del conocimiento disciplinario de los estudiantes.

En términos generales, el contrato didáctico que implícitamente sustentaba las responsabilidades y tareas de maestros y estudiantes en ambientes presenciales, requiere o demanda cambios y ajustes asociados con la naturaleza y funcionamiento de un ambiente mixto de aprendizaje. En este escenario, el estudiante extiende sus tareas y responsabilidades relacionadas con la consulta y discusión de contenidos en línea, que complementa y amplía la información sobre los temas estudiados durante las clases presenciales.

En el proceso de comprender conceptos o formular y solucionar problemas, los alumnos pueden consultar recursos y plataformas disponibles en línea donde expertos en el tema expliquen temas del curso o analicen problemas resueltos. Así, la tarea va más allá de que los jóvenes repitan explicaciones o apliquen reglas para resolver ejercicios; resalta la actividad de contraste y análisis de las diferentes formas de representar conceptos y discutir su aplicación en el estudio de otros temas o situaciones.

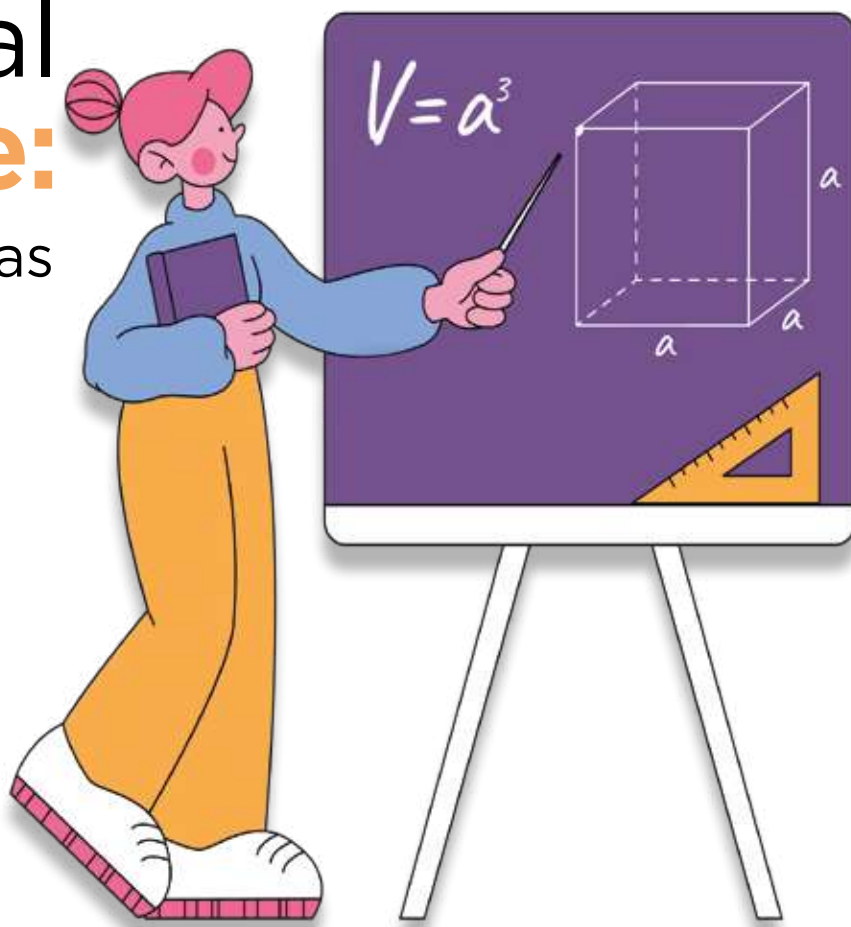
En la parte presencial, más que escuchar la presentación de su profesor, los alumnos tienen la oportunidad de mostrar y compartir sus avances e ideas sobre el tema en estudio, plantear sus dudas, conocer y analizar los acercamientos de sus pares y recibir retroalimentación directa del maestro. En este camino, se enfatiza que los jóvenes centren su formación en los procesos de formular y responder preguntas como un medio para expresar y discutir sus ideas, y para la comprensión de conceptos y resolución de problemas.

¿Cómo diseñar y estructurar un ambiente de aprendizaje que considere actividades presenciales y remotas? ¿Cómo aprenden los estudiantes en un escenario que les exige trabajar y realizar actividades en línea y también participar en discusiones presenciales? ¿Cómo monitorear y evaluar el aprendizaje de los estudiantes? ¿Qué ajustes son necesarios realizar en las propuestas del currículum? ¿Qué tecnologías digitales son importantes en el diseño y desarrollo de un ambiente híbrido de enseñanza? ¿Qué ajustes necesita la infraestructura del ambiente presencial para promover la participación con-

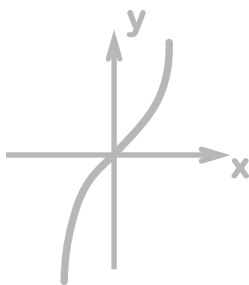
tinua y segura de los estudiantes? Éstas son algunas interrogantes en la agenda académica de la Educación Matemática y son parte de diversos programas de investigación que buscan sustentar un escenario combinado de aprendizaje.

En este contexto, los materiales que guían a los estudiantes son un factor importante para el desarrollo y construcción del pensamiento disciplinario. La idea es que, durante el estudio del contenido de los cursos, los alumnos tengan la oportunidad de revisar y extender la comprensión de los conceptos y gradualmente robustecer y ampliar sus acercamientos de resolución de problemas. Aquí, resulta importante que los jóvenes desarrollen e instrumenten plan táctico y estratégico que los oriente en la selección y estudio de contenidos que aparecen en línea o en plataformas digitales.

Algunos recursos disponibles en línea pueden contribuir en el desarrollo de las experiencias de aprendizaje de los estudiantes, en términos de revisar materiales o explicaciones sobre conceptos matemáticos o ejemplos resueltos. El uso de aplicaciones digitales, como GeoGebra,



amplían las formas de representación, exploración y análisis de conceptos o relaciones matemáticas para los diferentes casos. En este camino, es importante que los estudiantes usen diversas tecnologías y desarrollos o plataformas digitales durante las fases de comprensión de los enunciados, el diseño de un plan de solución y en comunicación y discusión de los resultados y extensiones del dominio inicial de las tareas. Además, con el uso de algunas aplicaciones (Zoom, Teams, Google Meet, etcétera.) pueden compartir y discutir sus ideas con sus pares y analizar y contrastar las diversas formas de solución de distintos temas.



¿Cómo diseñar y transformar los cursos tradicionales de matemáticas que se estudian en la educación preuniversitaria en un modelo que incorpore el uso sistemático de tecnologías digitales? A continuación, se esbozan elementos esenciales que soportan el desarrollo de los temas que se abordan en los cursos de matemáticas de bachillerato. Estos son parte de un proyecto (Pasaporte al Aprendizaje) que el Cinvestav y UNICEF coordinan para este nivel.



Pasaporte al Aprendizaje es una estrategia didáctica que guía y sustenta el desarrollo de los contenidos; incluye la presentación de problemas resueltos donde se ilustra lo que significa y se espera de los estudiantes al resolver tareas o comprender un concepto. Por ejemplo, se fomenta la idea de que los estudiantes, al enfrentar un problema, siempre busquen y discutan diferentes maneras de resolverlo.

En este camino deben analizar y discutir con sus pares las estrategias y recursos importantes involucrados en proceso de resolverlos. Las aplicaciones digitales de comunicación permiten a los estudiantes compartir sus ideas y discutir con sus compañeros y maestros sus preguntas, comentarios, dudas y acercamientos de resolución de problemas. Posteriormente,

los estudiantes trabajarán algunos problemas siguiendo y respondiendo las preguntas que los guían hacia su resolución, y finalmente resuelven tareas de manera independiente. Los cursos aparecen en una plataforma que los estudiantes activan a través de un registro y código. De manera general, la estructura de los cursos se organiza alrededor de cuatro módulos de contenidos que incluyen los siguientes apartados:

✔ Correcto (5/20)
 ✘ Incorrecto (8/20)
 ⦿ Omitido (7/20)

Pregunta 1

¿Cuál de los siguientes números es el mayor?

a)	31.25643×10^2
b)	3.125643×10^3
c)	312564.3×10^{-1}

a. a)
 b. b)
 c. c)

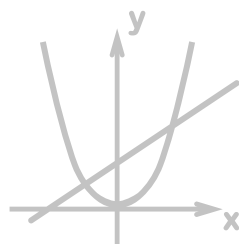
Su respuesta

Pregunta 2

Si en una fábrica de televisores se producen 15,000 televisores en un mes, ¿cuántos se producen en 24 días?

a. 11,500
 b. 12,000
 c. 12,500

Su respuesta



a. Presentación (video corto) donde se explica cómo trabajar las actividades del curso y un cuestionario inicial, con preguntas de opción múltiple que informa sobre el dominio de los estudiantes sobre conceptos y recursos, previamente estudiados. Al terminar el cuestionario, los estudiantes conocerán qué preguntas respondieron correctamente y sugerencias sobre cómo revisar los contenidos involucrados en las preguntas que no respondieron adecuadamente.

b. Ejemplos de problemas resueltos donde se muestra a los estudiantes diversos métodos sobre cómo resolverlos. Se identifican conceptos, estrategias y recursos asociados con diversos métodos de solución. En este proceso se plantean preguntas que los estudiantes responderán durante las fases de comprensión, exploración y resolución de las tareas. Además, al final se presenta un cuestionario que extiende y generaliza la aplicación de los métodos de solución a otras familias de problemas.

c. Enlaces de plataformas en línea que los estudiantes consultan con la intención de revisar y ampliar la comprensión de conceptos relacionados con el tema.

Problemas verbales de multiplicación y división

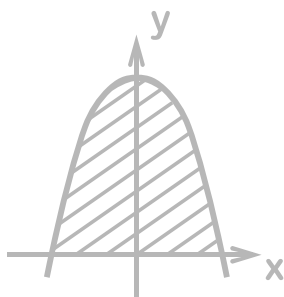
Frederic leyó 471 páginas de libros este mes. Jeane leyó 3 veces más páginas que Frederic.

¿Cuántas páginas leyó Jeane?

páginas.

¡Bien hecho! [Ve una solución paso a paso.](#) Reportar un problema

d. Construcción y exploración de modelos dinámicos. Aquí se usa la aplicación “GeoGebra” para construir y explorar modelos geométricos de las tareas. Por ejemplo, en el estudio de las secciones cónicas, en el curso de Geometría Analítica, se construyen modelos dinámicos que privilegian el acercamiento geométrico que permite construir referentes asociados con las propiedades de las cónicas. Por ejemplo, si se tiene el perímetro de un triángulo rectángulo y el valor de su hipotenusa. ¿Cómo se puede construir ese triángulo? El modelo vinculado a esta pregunta que involucra la construcción de una familia de triángulos con un lado la longitud de la hipotenusa (AD) y los otros lados AF y DF tienen longitudes DE & EB respectivamente, siendo AB la longitud de perímetro. El lugar geométrico de los puntos G & F cuando el punto D se mueve sobre el segmento AB genera la elipse. Por construcción la suma de los lados AF & DF es una constante (definición de elipse). En este acercamiento se enfatiza el significado geométrico de los objetos matemáticos y posteriormente se estudia el modelo algebraico de las cónicas.



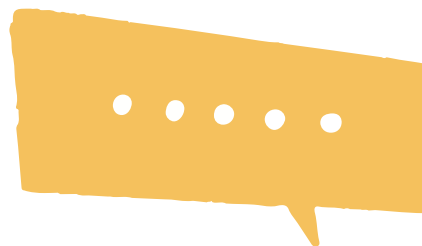
e. Problemas propuestos que los estudiantes tienen que resolver y que amplían el horizonte de aplicación de los conceptos estudiados.

f. Un sistema en línea de asesorías para los estudiantes. Un maestro supervisa el trabajo de los estudiantes y responderá las preguntas y dudas que hacen llegar los alumnos a través de un “chat” o un mensaje por correo electrónico.

De manera general, en el desarrollo de los cursos se integra el uso de tecnologías y desarrollos digitales como videos cortos, cuestionarios sobre el dominio de los contenidos (autoevaluación); ejemplos y actividades resueltas, ligas o enlaces sobre temas relacionados; construcción y exploración de modelos dinámicos y una evaluación global sobre el desempeño de los estudiantes.

El grupo de trabajo que coordino y participa en el diseño y desarrollo de los contenidos de los cursos, incluye egresados del departamento de Matemática Educativa del Cinvestav (Adrián Gómez Arciga, Daniel Ortiz May, y Miguel Cerón Villegas). La parte técnica que contempla la integración y activación de la plataforma digital está coordinada por Luis A. Ortiz Arellano.

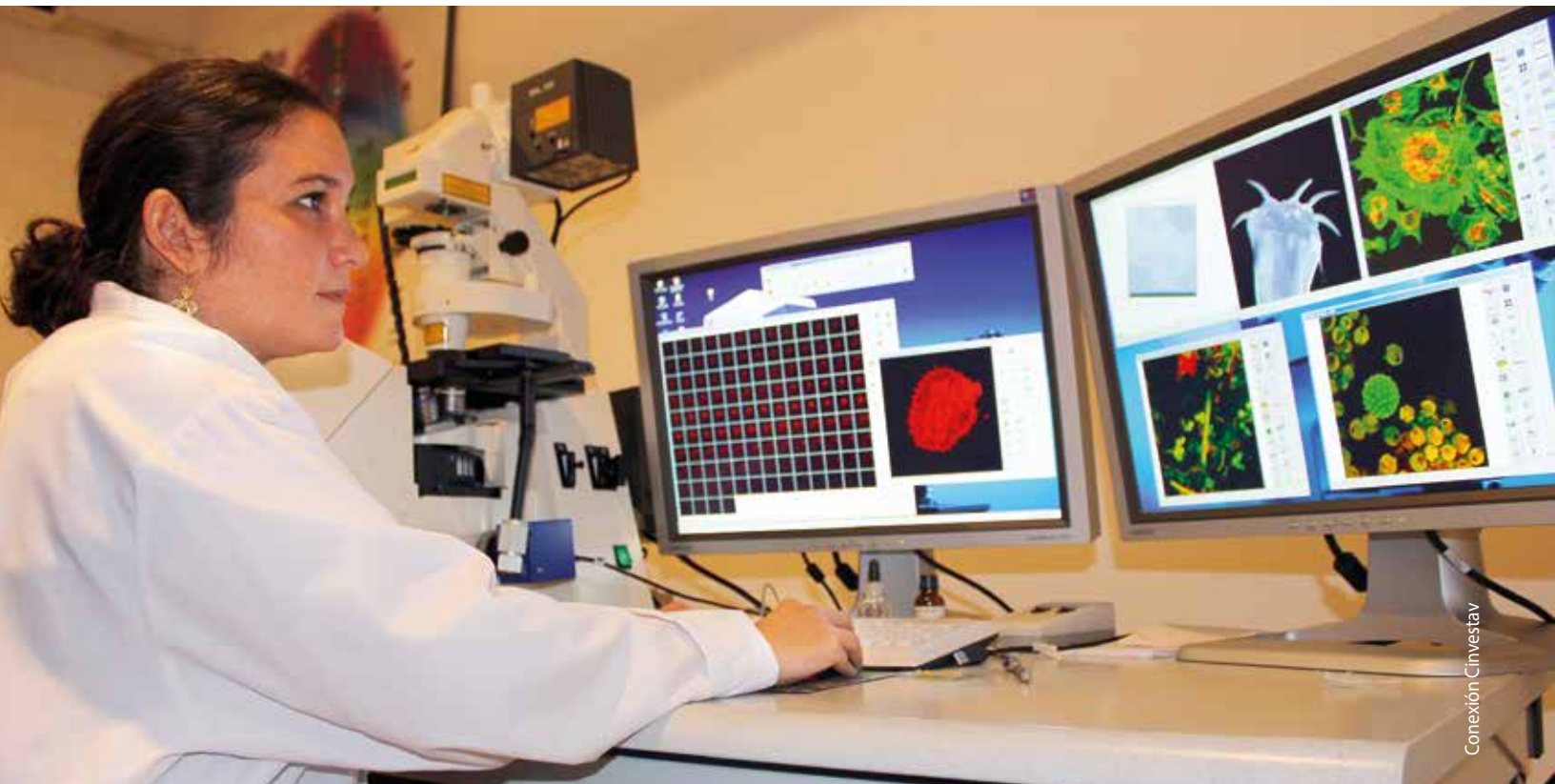
Artículo publicado en línea el 28 de enero de 2022.



La construcción de una elipse a partir de la exploración de una familia de triángulos.



Contribuciones de la virología a la ciencia básica y sus beneficios



Conexión Cinvestav

Ana Lorena Gutiérrez Escolano

Departamento de Infectómica y Patogénesis Molecular, **Unidad Zacatenco, Cinvestav.**

El interés por el estudio de la virología se originó probablemente por la necesidad de controlar las infecciones virales que han afectado a la agricultura, ganadería y la salud humana desde la antigüedad. Este continuo

intento por parte de los médicos e investigadores de estudiar y entender a los virus para poder controlarlos, ha traído como consecuencia el descubrimiento de un sinnúmero de procesos celulares y moleculares realmente asombrosos, que han contribuido de manera crucial en la comprensión de algunos de los principios básicos del proceso de la vida.

Los bacteriófagos y el material genético

El nacimiento de la genética molecular surgió a comienzos de los años 50, con el estudio de los virus que infectan bacterias o bacteriófagos, que son las entidades más diversas y de mayor distribución en la biosfera. Los bacteriófagos, compuestos por una capa externa de proteína y un núcleo interno de ADN, históricamente han sido “modelos” para demostrar la química básica de la vida, la genética bacteriana, la biología molecular, y particularmente, se han utilizado para definir la estructura y regulación génica.

Utilizando bacteriófagos, los investigadores Alfred Hershey y Martha Chase, en 1952, determinaron que el ADN es la molécula que transmite la información genética, y que junto con los hallazgos en 1953 sobre la estructura del ADN de Watson y Crick, sentaron las bases de la revolución de la biología molecular. A partir de entonces, y utilizando a los bacteriófagos como modelos de estudio, fue posible determinar la naturaleza de los genes, cómo se replican y expresan, y cómo ocurren y les afectan las mutaciones.

El estudio de los bacteriófagos y las bacterias permitió una serie de avances importantes en el área de la bioquímica durante los años 50; el descubrimiento de las enzimas de restricción, encargadas de cortar el ADN en puntos específicos, así como de las ligasas, que catalizan la unión de las cadenas de ADN mediante la formación de enlaces fosfodiéster, permitieron a Berg en los años 70 la creación del primer ADN recombinante, una molécula híbrida de ADN del virus

SV40 y del bacteriófago lambda. Aunque el temor de un potencial daño producido por este virus recombinante impidió su propagación en ese tiempo; pocos años después, Herbert Boyer y Stanley Cohen introdujeron un gen de resistencia a un antibiótico en la bacteria *E. coli* y con ello produjeron el primer organismo en contener un ADN recombinante por ingeniería genética.

La tecnología de ADN recombinante no fue solo un parteaguas en la investigación científica, sino que generó la creación de una industria de ingeniería genética que entre sus primeras aplicaciones produjo insulina humana a partir de bacterias. Las implicaciones de la tecnología de ADN recombinante han ganado importancia desde entonces, y se espera que su mayor impacto sea durante el siglo XXI, como una de las estrategias más viables para el mejoramiento en la agricultura y de la salud animal y humana. En el campo de la agricultura, se han desarrollado cultivos más resistentes, que requieren menor consumo de agua, y cuyos granos están fortificados con beta carotenos (precursores de la vitamina A), para consumo en áreas donde hay faltante dietario de vitamina A. También se está trabajando en la producción de plantas que producen su propio insecticida, con lo que se reducirá la contaminación y los costos por el uso de insecticidas químicos. En el campo de la salud humana, la tecnología de ADN recombinante ya está impactando en la creación de vacunas recombinantes y la producción farmacológica; se espera que pronto influya positivamente en la prevención y cura de enfermedades degenerativas a través de la terapia génica.

El estudio de los bacteriófagos y bacterias que infectan, ha permitido descifrar



La producción de insulina humana a partir de bacterias fue una de las primeras aplicaciones de la tecnología de ADN recombinante en la industria de la ingeniería genética.

los mecanismos básicos de transferencia de la información genética, es decir, el movimiento de material genético entre diferentes especies. Hoy en día se conoce que esta transferencia horizontal de material genético observada también entre arqueas, procariontes y eucariontes, es uno de los factores que junto con las alteraciones en las secuencias genéticas y las duplicaciones, deleciones y translocaciones de segmentos de ADN genómico, contribuyen a la variación genética espontánea, y por lo tanto, constituyen un factor importante en la evolución.

Los virus tumorales de ARN o retrovirus y el dogma de la biología molecular

Durante las décadas previas a 1970, se establecieron y demostraron experimentalmente los principios de cómo la información genética se transfiere en los sistemas biológicos. Se descubrió el “dogma central de la biología”, en el que se describe que en todos los organismos el código genético presente en el ADN, se transcriben a un ARN mensajero cuya información es traducida en proteínas,

principales moléculas efectoras de las funciones de la vida. Sin embargo, el descubrimiento y el estudio de los virus tumorales de ARN, también conocidos como retrovirus, que poseen la capacidad de transformar células normales en cancerosas, determinó que su replicación era incompatible con el dogma central. Howard Temin y David Baltimore, probaron que los retrovirus sintetizan ADN viral a partir de su genoma de ARN mediante una reacción catalizada por la enzima viral transcriptasa reversa, una polimerasa de ADN dependiente de ARN [1, 2].

La posibilidad de convertir al ARN mensajero en copias de ADN (ADNc) ha tenido muchas aplicaciones, que han revolucionado el campo de la biología molecular, como la expresión heteróloga de proteínas individuales o la identificación de genes que participan en funciones celulares específicas, ya sea a partir de bancos de ADNc o de microarreglos de ADNc. Particularmente, estos últimos representan un método poderoso para evaluar los niveles de expresión génica de miles de genes simultáneamente, con aplicaciones muy diversas, en detección de enfermedades, terapias con fármacos y en la identificación de perfiles de genes celulares cuya expresión es modulada en respuesta a una infección producida por patógenos, entre otros [2,3].

Regulación de la síntesis proteica y estrés celular

El estudio de virus que infectan células eucariotes, también ha contribuido de manera sustancial en el entendimiento de muchos procesos celulares. Un ejemplo de ello es el virus de la poliomielitis (PV), que causó epidemias devastadoras en países con altos estándares de higiene durante la primera mitad del siglo XX. El interés mundial de estudiar a este virus para controlar y prevenir la poliomielitis, trajo como resultado determinar que este virus inhibe la síntesis canónica de proteínas o traducción dependiente de cap de su célula hospedera, mientras que su RNA genómico, que no posee un cap en su extremo 5', se traduce eficientemente a través de la unión del ribosoma en una región interna denominada sitio de unión interna del ribosoma o IRES (del inglés: internal ribosome entry site). A este mecanismo alternativo de inicio de la traducción se le conoce como: "traducción dependiente de IRES" [3].

En condiciones de estrés celular, en las que la traducción dependiente de cap se inhibe, como durante el choque térmico, algunas proteínas se sobre-expresan para contrarrestar la situación de estrés. Esta condición semejante a la que ocurre durante la infección por PV, permitió determinar que el inicio de la traducción de

estos ARNm celulares se regula mediante un mecanismo parecido. Hoy en día se conoce que bajo algunas condiciones fisiológicas, patofisiológicas y de estrés en las que la traducción dependiente de cap es inhibida, como durante la mitosis, hipoxia, diferenciación, crecimiento y proliferación celular, apoptosis y angiogénesis; el inicio de la traducción se lleva a cabo mediante mecanismos de unión interna del ribosoma, para mantener la síntesis de proteínas específicas requeridas durante la respuesta al estrés o para permitir la recuperación de la célula del propio estímulo [4]. Entre el 10 y 15% de todos los ARNm celulares tienen la capacidad de iniciar la traducción de manera dependiente de cap o de IRES y producir proteínas idénticas. El estudio de los mecanismos de traducción de estos virus, permitió romper con el dogma de la traducción canónica y entender los procesos de regulación de la expresión génica en condiciones de estrés.

Regulación de la expresión génica

Procesamiento del RNA o splicing alternativo. A partir del conocimiento obtenido como resultado de los avances en la biología molecular durante los años 70, se especuló que la cantidad de proteínas que se producían en las células eucariotas, era superior al número de genes que se había calculado que contenían.



Conexión Cinvestav

Las últimas cinco décadas han sido muy productivas en la investigación en virus, y los resultados de ello han impactado aspectos diversos de la virología, como desarrollo de vacunas y fármacos para el control de las enfermedades virales.

La búsqueda de una respuesta a este hecho, permitió el descubrimiento del “splicing alternativo”, un proceso de regulación génica en el que un solo gen puede producir diferentes proteínas, llegando en ocasiones a centenares o miles de variantes como resultado de la edición de intrones de los ARNs heterogeneo-nucleares para producir los ARNm maduros. El splicing alternativo fue por primera vez descrito estudiando la regulación genética de los adenovirus, un virus de ADN, que durante la fase tardía de la infección produce un único transcrito de gran tamaño a partir del cual se generan distintos ARNm que codifican diferentes proteínas virales [5].

Cuando el mecanismo de splicing alternativo está alterado debido a una edición incorrecta de los intrones de los genes que se relacionan con la transformación tumoral y la progresión del cáncer, ocurre la activación de procesos como la apoptosis, angiogénesis, migración celular y metástasis [6], lo cual contribuye con el establecimiento de cáncer o de enfermedades genéticas.

Proteínas reguladoras de la transcripción. El estudio de los virus también contribuyó con el descubrimiento de los factores de transcripción (FT), que son proteínas que reconocen secuencias específicas cercanas al inicio de la transcripción en el ADN, se unen a ellas y actúan como activadoras o represoras de la síntesis del ARN. Estos factores también constituyen elementos clave de regulación de la expresión de la información codificada en los genes. El primer FT eucariótico descubierto fue el antígeno T grande del virus de simio 40 (SV40), que está involucrado en la replicación del genoma viral y en la regulación del ciclo celular. Esta proteína viral actúa como un represor de la transcripción de los genes supresores de tumores de las células hospederas,

como p53, lo cual contribuye a una proliferación celular incontrolada e induce transformación maligna. Son numerosos los FT que participan en el desarrollo de enfermedades, y la mayoría de ellos actúan como oncoproteínas, por lo que su estudio está permitiendo entender algunos de los mecanismos implicados en el cáncer y por lo tanto en el desarrollo de herramientas para coadyuvar con su control.

Otros aspectos de la regulación de la expresión génica, que han sido entendidos debido al estudio de los virus, son la estructura y organización del cromosoma [7], identificación de señales de la transcripción como las señales de poli A y la poli A polimerasa [8, 9], modificaciones post transcripcionales como la metilación del cap en los ARNm y la edición del ARNm (splicing) [10], entre otros.

Muchos de los fundamentos de los procesos moleculares más importantes en las células han sido esclarecidos estudiando a los virus. Su similitud con los genes celulares y su austeridad genómica, comparada con la de la célula, hace que los virus tengan que utilizar la misma maquinaria molecular para sus propios procesos, por lo que constituyen una herramienta simplificada para entender este sistema complejo. Las últimas cinco décadas han sido muy productivas en la investigación en virus, y los resultados de ello han impactado aspectos diversos de la virología, como desarrollo de vacunas y fármacos para el control de las enfermedades virales, generación de conocimiento sobre la patogénesis, la epidemiología y el descubrimiento de nuevos aspectos de la biología molecular.

**Artículo publicado en línea
el 20 de septiembre de 2018.**



Referencias

1. Baltimore D (1970) Viral RNA-Dependent DNA Polymerase in Virions of RNA Tumour Viruses. *Nature* 226,1209.
2. Speed TP (2003) Statistical analysis of gene expression microarray data. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL.
3. Liu HC, He Z, et al (2001) Application of complementary DNA microarray (DNA chip) technology in the study of gene expression profiles during folliculogenesis. *Fertil Steril*, 75, 947-955.
4. Kates J y Beeson J (1970) Ribonucleic acid synthesis in vaccinia virus II. Synthesis of polyriboadenylic acid. *J Mol Biol* 50, 19-33.
5. Berk AJ. (2016) Discovery of RNA splicing and genes in pieces. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 113, 801-805.
6. David CJ y Manley JL (2010) Alternative pre-mRNA splicing regulation in cancer: pathways and programs unhinged. *Genes Dev* 24, 2343-2364.
7. Germond JE, Hirt B, et al (1975) Folding of the DNA double helix in chromatin-like structures from simian virus 40. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 72, 1843-1847.
8. Fitzgerald M y Shenk T (1981) The sequence 5'-AAUAAA-3' forms parts of the recognition site for polyadenylation of late SV40 mRNAs. *Cell*, 24, 251-260.
9. Gutiérrez-Escobedo AL (2006) Inicio de la traducción dependiente de Ires, un mecanismo alternativo para la síntesis de proteínas. *REB* 25, 12-19.
10. Chow LT, Gelinis RE, et al (2000) An amazing sequence arrangement at the 5' ends of adenovirus 2 messenger RNA. *Rev Med Virol* 10, 362-369. (*Reimpresión de Cell*, 12, 1-12, 1977).

El átomo que se sintió electrón



Eduardo Gómez García¹
y Karina Jiménez García²

¹ **Universidad Autónoma
de San Luis Potosí.**

² **Unidad Querétaro, Cinvestav.**

Hoy en día existen algunos fenómenos físicos que apenas estamos entendiendo o aprovechando. Un ejemplo son los materiales topológicos, que corresponden a una combinación no trivial de aislante y conductor en el mismo material. Sería de gran utilidad estudiar estos sistemas de manera controlada en un laboratorio, pero ¿cómo? La respuesta podría surgir de un campo en la frontera de la investigación científica que se conoce como campos de norma artificiales o artificial *gauge fields* por su nombre en inglés.

En física, una teoría de norma es un tipo de teoría de campos en la cual existen

simetrías especiales; en particular, las ecuaciones que describen a los campos permanecen invariantes ante ciertas operaciones. Una teoría de norma muy conocida es el electromagnetismo, en la que los campos eléctrico y magnético se pueden definir matemáticamente en términos de campos de norma, lo cual facilita su descripción. Pero, ¿es posible crear un campo de norma artificial que actúe sobre una partícula de carga neutra?

Esta es la historia de un átomo (neutro) que un día se vistió de electrón. A continuación veremos cómo los átomos con carga neta igual a cero pueden conducirse de manera equivalente a partículas cargadas eléctricamente. Este comportamiento resulta de gran utilidad para entender sistemas de electrones. Los electrones en movimiento son responsables de la corriente disponible en todas las tomas eléctricas de nuestros hogares, que fluye por los electrodomésticos, incluidos los teléfonos celulares, computadoras, televisores, etcétera. Los átomos

son objetos compuestos hechos de otras partículas que son el protón, neutrón y electrón, y aunque algunas de éstas poseen carga eléctrica, el átomo tiene una carga total igual a cero. Los electrones y los átomos son por lo tanto partículas muy distintas, ¿cómo puede una comportarse como la otra? y ¿qué ganaríamos con este logro?

La respuesta viene del lenguaje matemático de la naturaleza: existen fenómenos físicos cuyas leyes de movimiento tienen la misma estructura matemática que otros fenómenos, pero con variables muy diferentes. Como ejemplo el siguiente ejercicio: encuentre las similitudes de las siguientes ecuaciones:

$$F = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad F = M(\mathbf{v} \times \boldsymbol{\Omega})$$

Una ecuación describe el movimiento de una partícula con carga eléctrica q y velocidad \mathbf{v} inmersa en un campo magnético \mathbf{B} ; mientras que la otra describe el movimiento de una partícula de masa M con velocidad \mathbf{v} sujeta a una rotación con velocidad angular $\boldsymbol{\Omega}$. La primera ecuación se conoce como la fuerza de Lorentz y la segunda como la fuerza de Coriolis.

Lo importante es que “las mismas ecuaciones tienen las mismas soluciones”. Sólo que la solución en un caso representa una corriente eléctrica $q\mathbf{v}$, mientras que en el otro corresponde a una corriente de partículas $M\mathbf{v}$. Y sí, una respuesta a nuestro problema — el vestir al átomo neutro como electrón — es poner a los átomos neutros en rotación, y funciona como lo demostraron inicialmente los grupos de investigación de E. Cornell [1], J. Dalibard [2], y W. Ketterle [3]. Sin embargo, existe otra solución aún más generalizada que tiene que ver con la creación del paisaje de energía potencial adecuado para los átomos: en lugar de utilizar las fuerzas presentes para conocer la evolución de un sistema —como en la mecánica Newtoniana—, basta con conocer la energía en este nuevo formalismo. Pero a diferencia de la fuerza, no tenemos mucha intuición sobre la energía.

La energía por lo regular depende de la posición y de la velocidad. Por ejemplo, un electrón tendrá una cierta energía cinética adecuada a su velocidad y una energía potencial debida a su distancia con respecto a un electrodo cargado negativamente. Esta energía depende de los campos eléctricos y magnéticos presentes. De manera similar, la energía

de un átomo que se encuentra iluminado por un haz láser será diferente a la que tendría en otra posición donde esté a oscuras. Aprovechando esta idea podemos hacer que la energía varíe con la posición con cualquier dependencia deseada. Por otra parte, lograr que la energía dependa de la velocidad es algo más complicado, pero no imposible. Para esto podemos utilizar el efecto Doppler, mediante el cual un átomo en movimiento percibirá una frecuencia (energía) de la luz láser menor si viaja en la misma dirección (o mayor si viaja en la dirección opuesta al láser). Con este corrimiento en frecuencia podemos hacer que la luz se encuentre más cerca de estar en resonancia con el átomo, y por lo tanto que tenga una interacción más fuerte. De esta manera la energía del átomo dependerá de su velocidad.

En un experimento con átomos neutros podemos poner los campos externos necesarios para generar alguna dependencia deseada de la energía como función de la posición y la velocidad. En particular, si somos lo suficientemente ingeniosos, podemos implementar una dependencia que sea análoga a la que siente un electrón en presencia de un campo magnético (que el átomo neutro sienta algo como la fuerza de Lorentz). Si el campo magnético apunta en la dirección vertical, y el electrón se mueve en el plano horizontal, entonces el electrón comenzará a dar vueltas en círculos en dicho plano. El radio de los círculos será

más pequeño conforme aumente el campo magnético aplicado.

Un experimento desarrollado por Y.-J. Lin y colaboradores, logró reproducir el mismo comportamiento utilizando átomos neutros en lugar de electrones [4]; en este experimento participó Karina Jiménez García, coautora de este escrito. Para enfatizar por qué esto es algo complicado, pensemos un segundo lo que queremos lograr. Quisiéramos poner al átomo a dar vueltas en círculos, independientemente de su posición, cual si se tratara del electrón antes mencionado en un campo magnético (ver ecuación de la fuerza de Lorentz). En su arreglo utilizaron átomos neutros iluminados por un par de haces láser y en presencia de un campo magnético como se muestra en la Figura 1a. En particular, se usaron átomos de rubidio que aunque son neutros, tienen un momento dipolar magnético, es decir, funcionan como pequeños imanes. Estos imanes atómicos pueden apuntar en una dirección (digamos $+z$, o arriba), en la dirección opuesta ($-z$, o abajo), o no tener dipolo (en z). Llamamos a estos tres posibles estados $m=+1$, -1 y 0 respectivamente (niveles de energía de la Figura 1b). Al aplicar un campo magnético (B) estos estados aumentan, disminuyen o no cambian su energía (ΔE) dependiendo del valor de m debido al efecto Zeeman. Si el campo magnético varía con la posición, es decir, si tenemos un gradiente de campo magnético, podemos ejercer una fuerza sobre los átomos cuyo signo depende nuevamente de m .

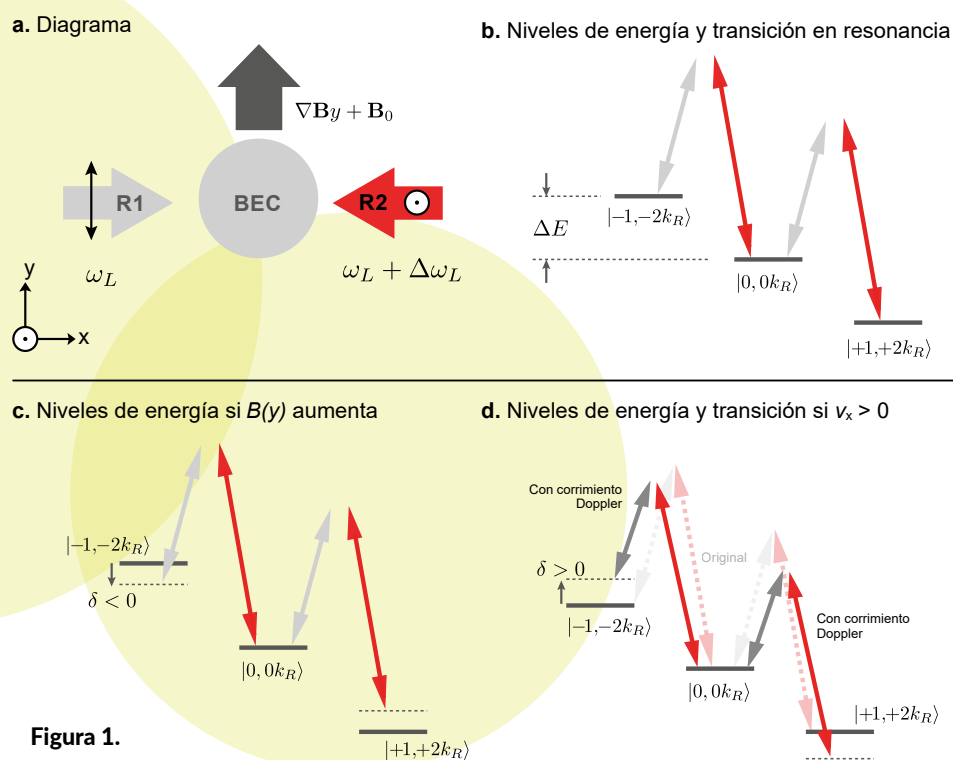


Figura 1.

Podemos pasar de un estado m a otro mediante una transición de dos fotones (Raman) (flechas grises y rojas de la Figura 1b). Si los dos láseres son contra-propagantes como en la Figura 1a, dicha transición Raman imparte también momento lineal a los átomos (cada fotón imparte un momento $p = Mv = h/\lambda$ donde h es la constante de Planck y λ la longitud de onda de los láseres). Esto conecta los grados de libertad internos del átomo (su m) con los externos (su velocidad v). Las frecuencias de los láseres se ajustan para que la diferencia de energía de sus fotones esté en resonancia con la separación de los niveles m , dado un campo magnético (Figura 1b). Hay dos maneras equivalentes de sacar a la transición de resonancia (con una desintonía δ negativa). La primera se logra aumentando el campo magnético (Figura 1c). La segunda se obtiene disminuyendo la velocidad del átomo, de manera que vean a los láseres con una frecuencia diferente debido al Efecto Doppler (Figura 1d). El efecto de las dos es similar debido a la mezcla de grados de libertad antes mencionada.

La Figura 2 muestra la energía de los átomos, incluyendo su energía interna y su energía cinética (o de movimiento) cuando los láseres están apagados (líneas punteadas). Al prender los láseres, los niveles se acoplan entre sí, y operan de manera conjunta (línea rosa). Al incrementar la intensidad de los láseres (línea roja) la energía de cada átomo tiende a concentrarse en el mínimo de energía (punto rojo de la Fig. 2). Ya no hay una clara distinción entre los niveles m individuales, sino que los átomos se encuentran en un estado de superposición con diferentes amplitudes de los tres estados posibles:

$$|m = -1, p - 2\hbar k\rangle, |m = 0, p\rangle \text{ y } |m = +1, p + 2\hbar k\rangle$$

donde $k = 2\pi/\lambda$ se conoce como el número de onda (ver Fig. 3).

El momento lineal de este nuevo sistema de átomos iluminados por luz es la media ponderada por la población en cada estado, y puede variar de manera continua y no sólo en brincos de Δp como lo hacen las componentes individuales. Algo parecido ocurre con el momento magnético del nuevo sistema, que ahora puede variar de manera continua.

Si atrapamos una canica en el fondo de un tazón y lo movemos lentamente, la canica seguirá en el fondo del tazón, se moverá con él. De manera similar suce-

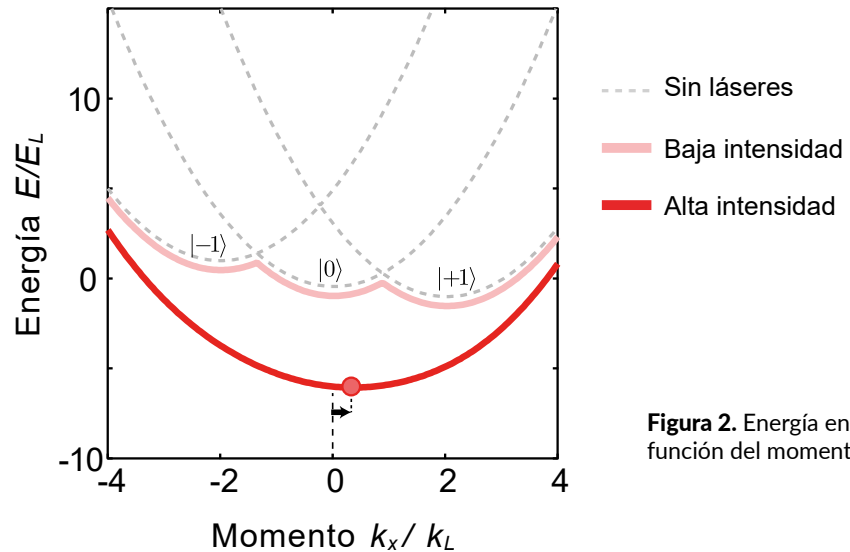


Figura 2. Energía en función del momento

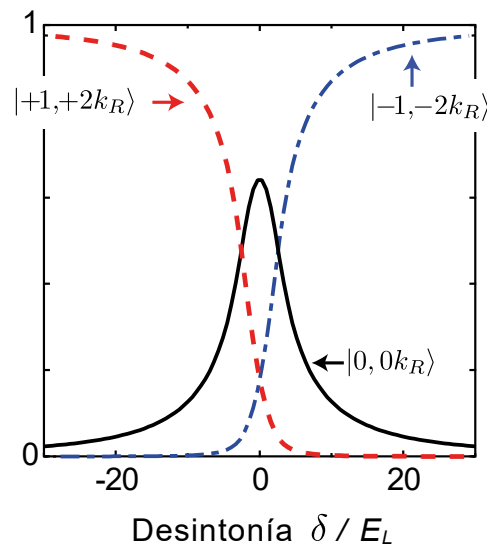


Figura 3. Distribución de estados en función de la desintonía.

de aquí; si cambiamos la desintonía δ , causará que se mueva la curva roja de la Figura 2 (i.e. nuestro tazón), pero ahora en vez de corresponder a un cambio de posición, corresponde a una variación en la superposición de los tres estados, a un cambio del momento y a una redistribución de los estados $-m$ (Figura 3). El momento neto adquirido total en la dirección x (dirección en la que se propagan los láseres) es transferido de la luz a los átomos. Así es como este método logra generar potenciales dependientes de la velocidad, en lugar de la posición. De igual manera, la redistribución de los estados m combinada con el gradiente magnético introduce una fuerza en la dirección y .

Dados los ingredientes anteriores podemos entender cómo surge el movimiento circular —propio de los electrones en un campo B y ahora imitado por átomos neutros— (Figura 4):

1. Empecemos con un átomo que se mueve en la dirección $+y$.
2. Dada la dirección del gradiente, el campo B aumenta y δ decrece (Fig. 1c).
3. En estas condiciones tenemos un cambio de momento neto positivo (Fig. 3) y los átomos se empiezan a mover hacia $+x$.
4. Ahora el átomo se mueve en la dirección $+x$, su velocidad v_x hace que δ se vuelva más positivo (Fig. 1d). Esta desintonía corre el mínimo de la Fig. 3 hacia $k_x < 0$, por lo que la superposición tiene una mayor contribución del estado $m=-1$ (Fig. 3), lo cual, combinado con la fuerza que ejerce el gradiente de campo magnético resulta en una fuerza hacia $-y$.
5. El átomo se mueve en la dirección $-y$ y ocurre lo opuesto al inciso 1 lo cual empuja el átomo hacia $-x$.
6. Al moverse en $-x$ ocurre lo opuesto al inciso 4 y empuja al átomo hacia $+y$ lo que cierra el ciclo y volvemos al inciso 1.

Y es así como un átomo neutro se vistió de electrón y experimentó una fuerza análoga a la fuerza de Lorentz. Este trabajo abrió una nueva área en la física llamada campos de norma artificiales. Son artificiales ya que aquí no se tiene un electrón, en su lugar se tiene un átomo. Tampoco existe en el experimento un campo magnético vertical; lo que se tiene es un gradiente de campo magnético y un par de láseres, que combinados crean un efecto similar sobre los átomos al que tendría un campo magnético sobre los electrones. El campo magnético artificial que se puede generar es órdenes de magnitud más grande que los campos magnéticos reales que se pueden formar hoy en día, lo cual permite, por ejemplo, el estudio de la física del efecto Hall cuantizado a campos magnéticos muy grandes.

Se llaman campos de norma ya que el énfasis aquí es simular la energía del sistema y no la fuerza como sería en el caso de Newton. A dicha energía se le puede aplicar una transformación particular, llamada transformación de norma, que lleva a una expresión diferente de la energía, pero que corresponde a exactamente la misma fuerza. Por ejemplo, podemos tener un sistema al cual le aplicamos una transformación de rotación, y

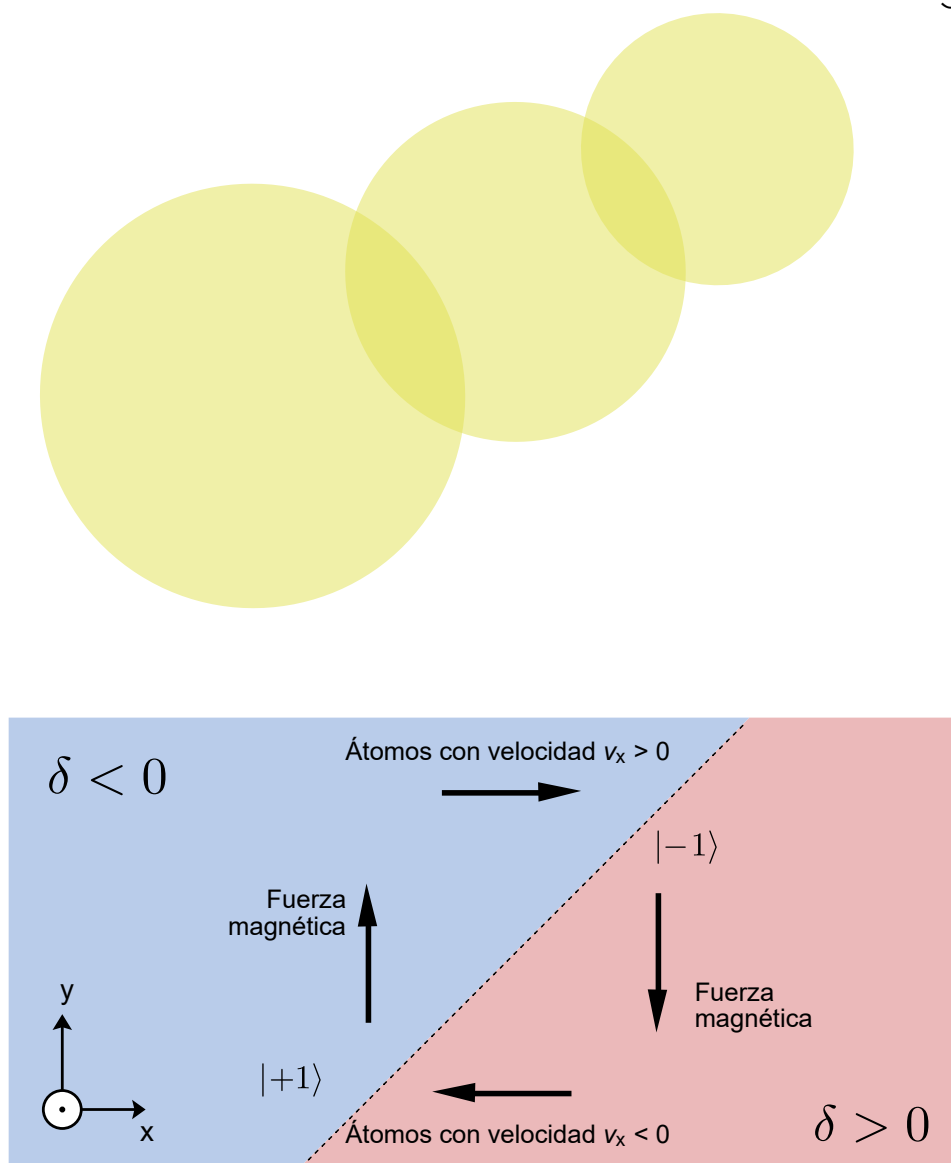


Figura 4. Movimiento circular imitado por átomos neutros.

nos encontramos que el comportamiento del sistema es idéntico ante dicha rotación. Gracias a esto podemos decir que el sistema es simétrico ante rotaciones. Describir a los sistemas en términos de campos de norma ha permitido en la física actual la introducción de conceptos de simetría en las leyes de la física. Mientras más simetrías tiene un sistema, más sencilla se vuelve su descripción.

Esta poderosa idea, que ahora ha sido llevada al laboratorio, permite la simulación de sistemas muy complejos mediante sistemas más simples sobre los cuales tenemos un gran control. Se espera que estos sistemas análogos puedan ayudarnos a entender mejor algunos de los fenómenos modernos y así poder explorarlos, como es el caso de los materiales topológicos.

Artículo publicado en línea
el 12 de noviembre de 2019



Referencias

1. Matthews MR, Anderson BP, et al. (1999) Vortices in a Bose-Einstein Condensate. *Phys. Rev. Lett.* 83, 2498.
2. Madison KW, Chevy F, et al. (2000) *Phys. Rev. Lett.* 84, 806.
3. Abo-Shaeer JR et al. (2001) Observation of Vortex Lattices in Bose-Einstein Condensates. *Science* 292, 476.
4. Lin Y-J, Compton RL, et al. (2009) *Nature* 462, 628-632.

Arqueas,

microorganismos antiguos de nuestro intestino

Maricarmen Salas-López,
Diana L. Rojas-Guerrero,
Carmen Josefina Juárez-Castelán
y Jaime García-Mena

Departamento de Genética y
Biología Molecular,
Unidad Zacatenco, Cinvestav.

“Ni siquiera creo que sean bacterias, Wolfe.” Es una traducción de lo que le dijo Carl Woese a su colega microbiólogo Ralph Wolfe al observar la secuencia del gen 16S ribosomal de un organismo metanógeno. Este descubrimiento se volvería un parteaguas en la biología. Sería en 1977 cuando Carl Woese y George E. Fox propondrían un tercer dominio de la vida; en ese entonces las llamarían “arqueobacterias”. Ahora simplemente son “arqueas”.

Edward F. De Long *et al.*, 2014 [1].

Las arqueas son organismos procariontes que datan de aproximadamente 2500 millones de años; son considerados de los primeros seres vivos en el planeta Tierra [2]. Se considera que la vida se originó en condiciones hostiles con una atmósfera escasa de oxígeno en un periodo temprano conocido como “Eón Arcaico”, donde abundaba una mezcla de gases compuesta por carbono, nitrógeno e hidrógeno [3]. Estas condiciones fueron ideales para que las arqueas proliferaran y produjeran metano. Este proceso es conocido como metanogénesis y hasta ahora solamente se ha observado en algunos grupos de arqueas, siendo ésta una de las características únicas del dominio Arquea [4].

Las arqueas tienen una morfología muy similar a las bacterias. Tan es así, que por mucho tiempo se consideraron bacterias productoras de metano [5].

Contrario a lo que la intuición nos haría pensar, las arqueas están más cercanamente relacionadas con el dominio Eucaria (que incluye a las plantas, hongos y animales), que con el dominio Bacteria [6]. La composición de la membrana y pared celular de las arqueas es muy diferente a la de las bacterias; las primeras poseen una capa externa resistente que les confiere tolerancia a ambientes extremos (Fig. 1) [7]. Por esto se asumió que eran extremófilas, ya que principalmente se les aislaba de fuentes hipertermales, lagunas hipersalinas o de extrema acidez [8]. Sin embargo, estos microorganismos que parecen tan lejanos habitan también dentro de nuestro cuerpo.

Arqueas en el cuerpo humano

Al hablar de microbiota humana, se piensa en bacterias y usualmente, las

relacionamos con patogénesis. No obstante, la microbiota humana comprende mucho más que eso: hongos, virus y por supuesto, arqueas [9]. Este conjunto de microorganismos se encuentra en diversos sitios de nuestro cuerpo, como piel, boca, pulmones, tracto gastrointestinal y son fundamentales para la salud des-



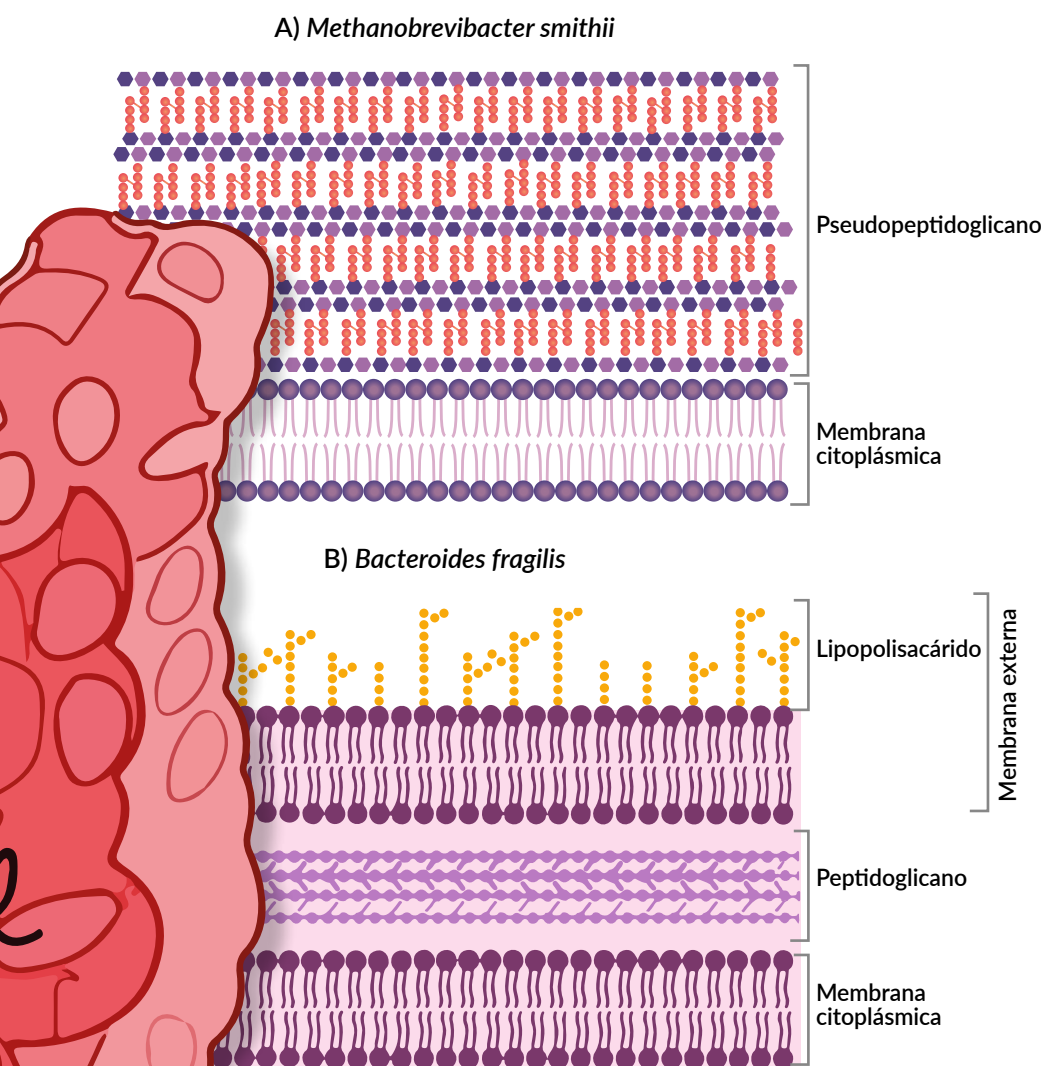


Figura 1. Diferencias entre las membranas celulares de arqueas y de bacterias. El esquema en A) muestra la composición de la membrana de la arquea *Methanobrevibacter smithii* y en B) la estructura de la bacteria *Bacteroides fragilis*.

de el nacimiento [10]. Particularmente, la microbiota intestinal nos ayuda a aprovechar los nutrientes de los alimentos, por lo que está influenciada por la dieta y estilo de vida. El sedentarismo, el consumo de antibióticos y la predisposición genética son factores que alteran a la microbiota. Estas alteraciones en la diversidad de la microbiota o disbiosis, se asocian con padecimientos psiquiátricos, como Alzheimer, esquizofrenia [11,12], autismo y depresión; y enfermedades metabólicas, como el síndrome del intestino irritable, diabetes y obesidad [13,14].

En el intestino humano, habitan diversas arqueas con distintas capacidades metabólicas. No obstante, la mayoría de las descritas son metanógenas. Entre

ellas, la más común es *Methanobrevibacter smithii*, seguida por *Methanosphaera stadtmanae* y *Methanomassiliicoccus luminyensis* [15]. Sin embargo, aún no se entiende cuáles son sus efectos para la salud, probablemente por la escasez de reportes de estudios científicos enfocados a sus interacciones con el resto de la microbiota. La asociación más reportada es entre *M. smithii* y la obesidad en humanos. En un grupo de niños mexicanos, nuestro grupo de investigación encontró que la abundancia de una especie de *Methanobrevibacter* no clasificada, está incrementada en aquellos que padecen obesidad [16]. A pesar de esto, no se ha encontrado que este género u otro grupo de arqueas, sean la causa del padecimiento.

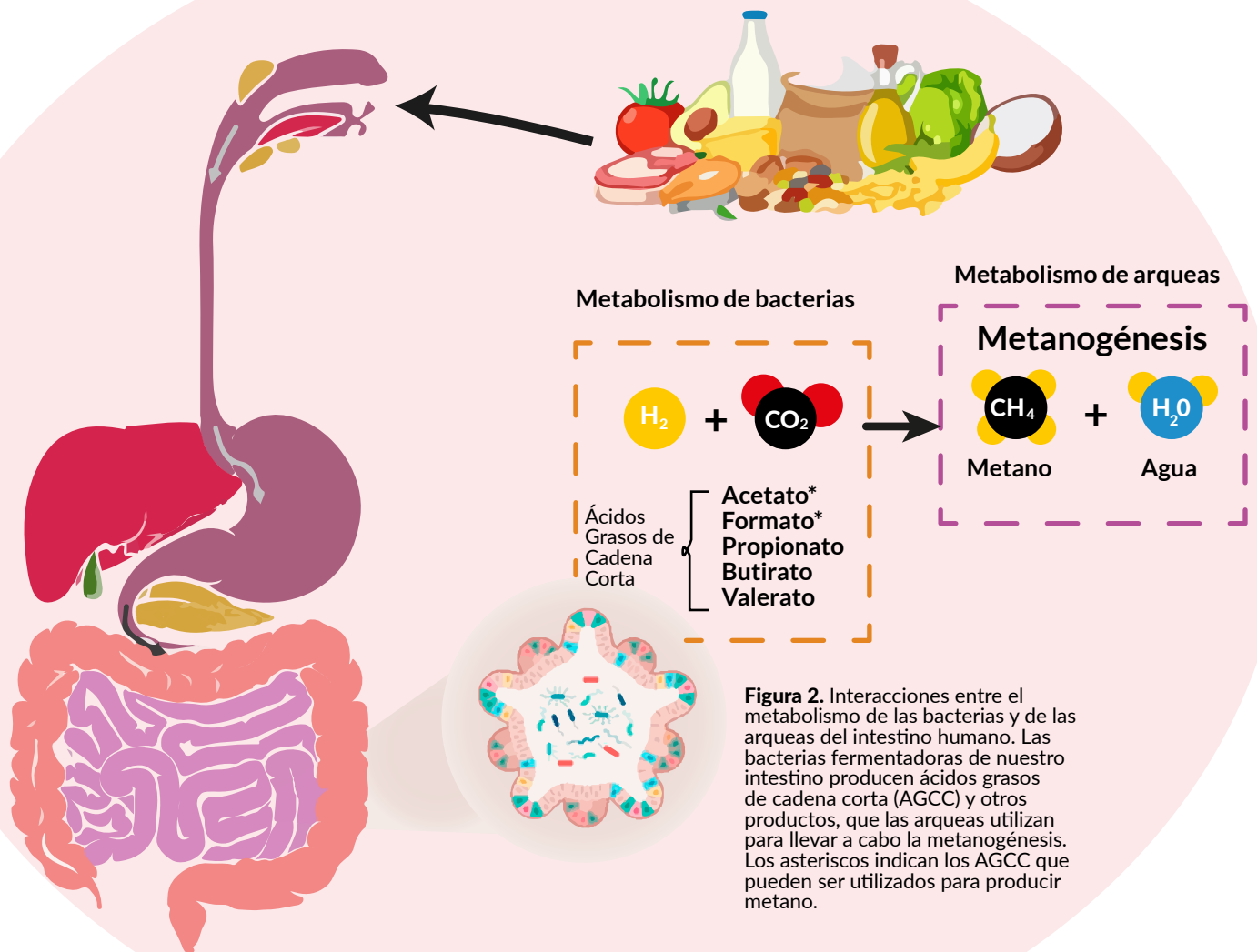
Las arqueas tienen una función inigualable en el intestino: la metanogénesis; además, tienen una relación simbiótica con las bacterias fermentadoras del tracto gastrointestinal, que a partir de los alimentos, producen ácidos grasos de cadena corta, benéficos para los seres humanos. Las bacterias fermentadoras producen hidrógeno, dióxido de carbono, metanol, entre otros compuestos, que las arqueas transforman en metano (Fig. 2). Con esto, evitan que se concentren altas cantidades de hidrógeno que resultarían tóxicas para las bacterias [17].

Así como las arqueas fueron de las primeras colonizadoras de la Tierra, también son de las primeras en colonizar el tracto intestinal. Al igual que ocurrió en el Eón Arcaico, las arqueas prosperan en un ambiente con escasez de oxígeno, como es el caso del colon. Con su llegada, facilitan el establecimiento de otros organismos, particularmente las bacterias.

Transmisión de arqueas por leche materna

La leche materna es el alimento ideal para el recién nacido, tanto así, que su composición varía con el tiempo para satisfacer las necesidades energéticas y nutricionales del bebé. A pesar de que por mucho tiempo se pensó que la leche materna era estéril, ahora se sabe que contiene microbiota y prebióticos que favorecen el establecimiento de los colonizadores pioneros. Todo esto la vuelve esencial para el desarrollo del neonato [18].

Se considera que la microbiota de la leche materna proviene principalmente del intestino. En el caso de las bacte-



rias, se ha propuesto que son translocadas desde el intestino a las glándulas mamarias mediante células dendríticas, y que a partir de ahí son transmitidas verticalmente al infante durante la lactancia (la vía enteromamaria). En otras palabras, el intestino del recién nacido es inoculado con bacterias por la leche materna [19]. Debido a que también se han detectado arqueas vivas en la leche, se piensa que ocurre lo mismo con ellas [20].

El establecimiento de los microorganismos en el intestino del neonato, posiblemente está mediado por inmunoglobulinas presentes en la leche materna. Éstas, también llamadas anticuerpos, son glicoproteínas que se clasifican en inmunoglobulina A (IgA), inmunoglobulina G (IgG), inmunoglobulina M (IgM), inmunoglobulina E (IgE) e inmunoglobulina D (IgD). Sin embargo, solo las primeras tres se han encontrado en la leche. Estos anticuerpos se unen a

componentes de la superficie de los microorganismos y regulan las poblaciones mediante mecanismos de inclusión o de exclusión. La inclusión inmunitaria hace referencia a un proceso en el que los anticuerpos se unen a los microorganismos y funcionan como anclas que retienen a poblaciones específicas. Estas poblaciones interactúan continuamente con el sistema inmunológico para generar respuestas anti-inflamatorias a su presencia, por lo que se considera que inducen mecanismos de tolerancia. Por el contrario, la unión de los anticuerpos en la superficie de los microorganismos también puede limitar su motilidad y favorecer su aglutinamiento en el lumen intestinal, de modo que son eliminados por contracciones musculares (peristalsis) (Fig. 3.). A esto se le conoce como exclusión inmunitaria. Estos mecanismos de selección sugieren que las inmunoglobulinas modelan la microbiota intestinal [21].

Conclusión

En efecto, lo que Carl Woese observaba no eran bacterias. Este descubrimiento revolucionaría la comprensión de la diversidad microbiana y también de la evolución de los organismos multicelulares. Aunque inicialmente se pensó que las arqueas eran exclusivas de entornos extremos, como el fondo del océano y las fuentes termales volcánicas, ahora se sabe que también son parte de nuestra microbiota. En el intestino, las arqueas son relevantes para el mantenimiento del microambiente que permite el funcionamiento de la comunidad de bacterias fermentadoras. Asimismo, su presencia en la leche materna sugiere que se transmiten de madre a hijo durante el amamantamiento, por lo que es posible que sean colonizadores tempranos durante la infancia. Sin embargo, el impacto de su presencia en el intestino en desarrollo, así como en el intestino adulto, aún no está bien estudiado. No

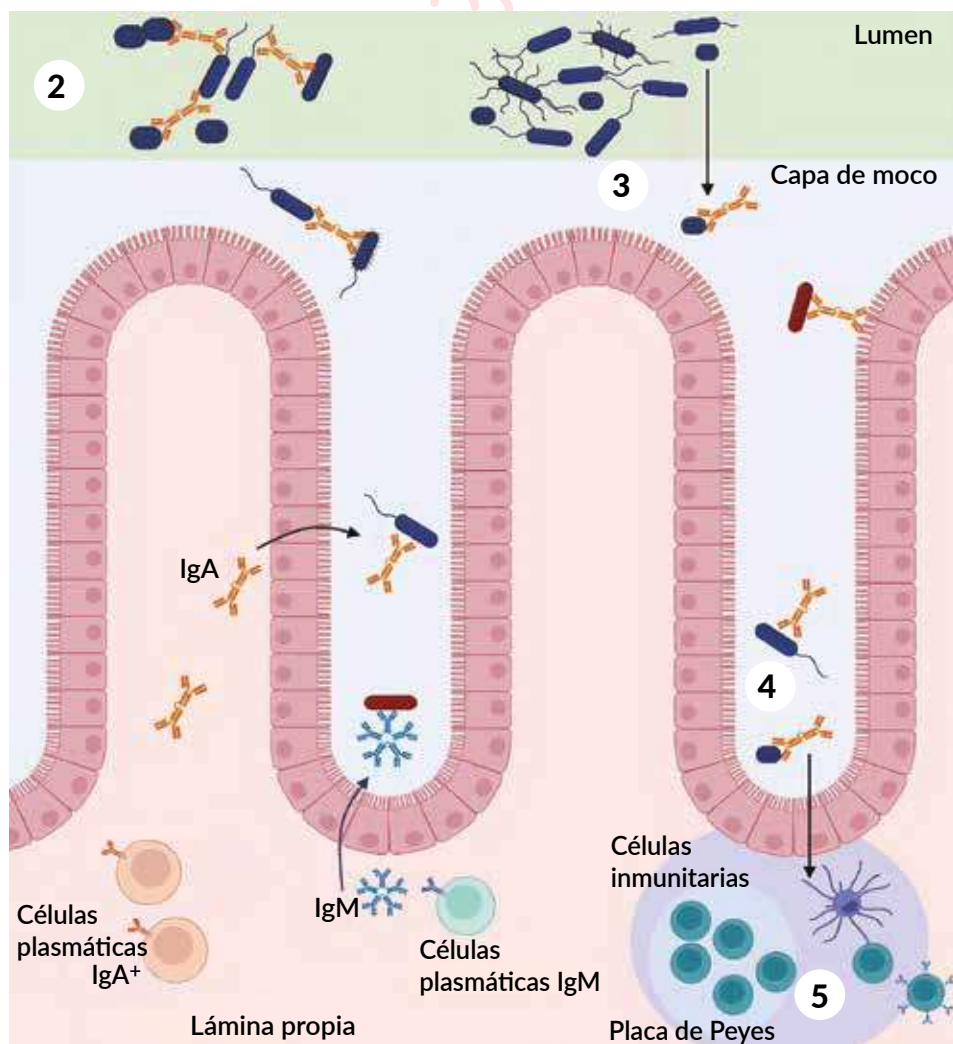


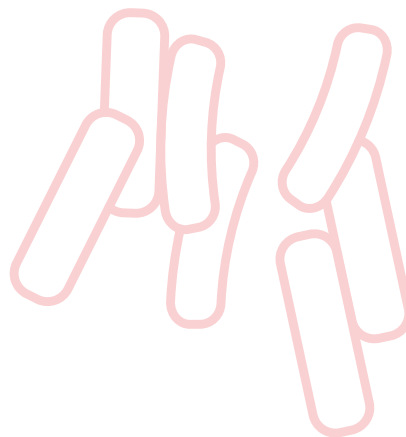
Figura 3. Mecanismos de selección y exclusión llevados a cabo por IgA, IgG e IgM. (1) Las células plasmáticas del sistema inmunitario producen anticuerpos que son secretados al exterior del epitelio intestinal hacia la capa de moco (2), allí pueden unirse a diferentes microorganismos para aglutinarlos y eliminarlos por movimiento peristáltico. (3) Los anticuerpos también pueden unirse a microorganismos para favorecer su permanencia al exterior del epitelio del intestino. (4) Ello sucede cuando la inmunoglobulina se une a moléculas o fragmentos del microorganismo y los transporta a las Placas de Peyer (5) donde suceden procesos que favorecen la permanencia de simbiosis o la eliminación de potenciales patógenos por elementos inmunitarios.

obstante, los hallazgos recientes sirven como invitación para profundizar en la investigación sobre el papel de las arqueas en la salud humana y subrayan la importancia de comprender y preservar la diversidad microbiana en nuestro cuerpo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido escrito con apoyo CONAHcyT FORDECYT-PRONACES/6669/2020 "Estudio de la vía Tracto-Digestivo-Materno/Leche-Materna/Tracto-digestivo-neonato. Una aproximación Ómica".

Artículo publicado en línea el 30 de octubre 2023.



Referencias

- De Long EF, Lory S, et al (2014). *The Prokaryotes: Other Major Lineages of Bacteria and The Archaea* (4.a ed.). Springer.
- Gribaldo S & Brochier-Armanet C (2006) The origin and evolution of Archaea: A state of the art. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 361(1470), 1007-1022.
- Martin H & Pinti DL (2011) Archean Eon. En: Gargaud M, Amils R, et al (Eds.), *Encyclopedia of Astrobiology*. Springer.
- Lyu Z, Shao N, et al (2018) Methanogenesis. *Current Biology: CB*, 28(13), R727-R732.
- DeLong EF & Pace NR (2001) Environmental Diversity of Bacteria and Archaea. *Systematic Biology*, 50(4), 470-478.
- Eme L, Spang A, et al (2017) Archaea and the origin of eukaryotes. *Nature Reviews Microbiology*, 15(12), Article 12.
- Albers SV & Meyer BH (2011) The archaeal cell envelope. *Nature Reviews Microbiology*, 9, 6, 414-426.
- DeLong EF (1998) Everything in moderation: Archaea as 'non-extremophiles'. *Current Opinion in Genetics & Development*, 8(6), 649-654.
- Jandhyala SM, Talukdar R, et al (2015) Role of the normal gut microbiota. *World Journal of Gastroenterology: WJG*, 21(29), 8787-8803.
- Dekaboruah E, Suryavanshi MV, et al (2020) Human microbiome: An academic update on human body site specific surveillance and its possible role. *Archives of Microbiology*, 202(8), 2147-2167.
- Rodrigues-Amorim D, Rivera-Baltanás T, et al (2018) The role of the gut microbiota in schizophrenia: Current and future perspectives. *The World Journal of Biological Psychiatry*, 19(8), 571-585.
- Zhang M, Zhao D, et al (2020) Dietary Pattern, Gut Microbiota, and Alzheimer's Disease. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(46), 12800-12809.
- Carding S, Verbeke K, et al (2015) Dysbiosis of the gut microbiota in disease. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 26(s2), 26191.
- Thursby E & Juge N (2017) Introduction to the human gut microbiota. *The Biochemical Journal*, 474(11), 1823-1836.
- Dridi B, Henry M, et al (2012) Age-related prevalence of *Methanomassiliicoccus luminyensis* in the human gut microbiome. *APMIS*, 120(10), 773-777.
- Maya-Lucas O, Murugesan S, et al (2019) The gut microbiome of Mexican children affected by obesity. *Anaerobe*, 55, 11-23.
- Bang C & Schmitz RA (2015) Archaea associated with human surfaces: Not to be underestimated. *FEMS Microbiology Reviews*, 39(5), 631-648.
- Selma-Royo M, Calvo-Lerma J, et al (2022) Human milk microbiota: What did we learn in the last 20 years? *Microbiome Research Reports*, 1(3), 19.
- Moossavi S & Azad MB (2020) Origins of human milk microbiota: New evidence and arising questions. *Gut Microbes*, 12(1), 1667722.
- Togo AH, Grine G, et al (2019) Culture of Methanogenic Archaea from Human Colostrum and Milk. *Scientific reports*, 9(1), 18653.
- Chen K, Magri G, et al (2020) Rethinking mucosal antibody responses: IgM, IgG and IgD join IgA. *Nature Reviews Immunology* 20, 7, 427-441.

Conoce más artículos de AyP:

La inteligencia artificial y sus aplicaciones

Martin Hernández Contreras
Departamento de Física,
Unidad Zacatenco, Cinvestav.



Fotónica del silicio

Juan Ramón Ramos Serrano, Yasuhiro Matsumoto y Crisóforo Morales Ruíz
Programa de Doctorado Transdisciplinario en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad, Unidad Zacatenco, Cinvestav.



Chagas una enfermedad olvidada: descubrimiento único en la medicina tropical y un problema actual
Rebeca Georgina Manning Cela¹, Gabriel Noris-Sarabia¹, Santiago Martínez-Calvillo² y Margarita Rubio-Ortiz¹

¹Departamento de Biomedicina Molecular, Unidad Zacatenco, Cinvestav
²FES Iztacala, UNAM.



Los **microorganismos** como tecnología emergente **para la limpieza del petróleo**

Santiago Cadena Rodríguez, María Leopoldina Aguirre-Macedo y José Q. García Maldonado
Unidad Mérida, Cinvestav.

Áreas verdes urbanas en zonas áridas, una propuesta sustentable

Dulce Yaahid Flores Rentería y Ana Laura Rodríguez Sánchez
Unidad Saltillo, Cinvestav.



Estrategias para prevenir y retrasar la **Enfermedad de Alzheimer**

Erika Alejandra Cabrera Reyes y Marco Antonio Meraz Ríos
Departamento de Biomedicina Molecular,
Unidad Zacatenco, Cinvestav.





Entérate del acontecer científico, académico, cultural y deportivo del Cinvestav

Síguenos en redes sociales



@ConexiónCinvestav



@ConexiónCinves



@conexioncinvestav



conexion.cinvestav.mx



AyP

Avance y Perspectiva

¡es digital!



avanceyperspectiva.cinvestav.mx



RevistaAvanceyPerspectiva



RevistaAyP



avanceyperspectiva