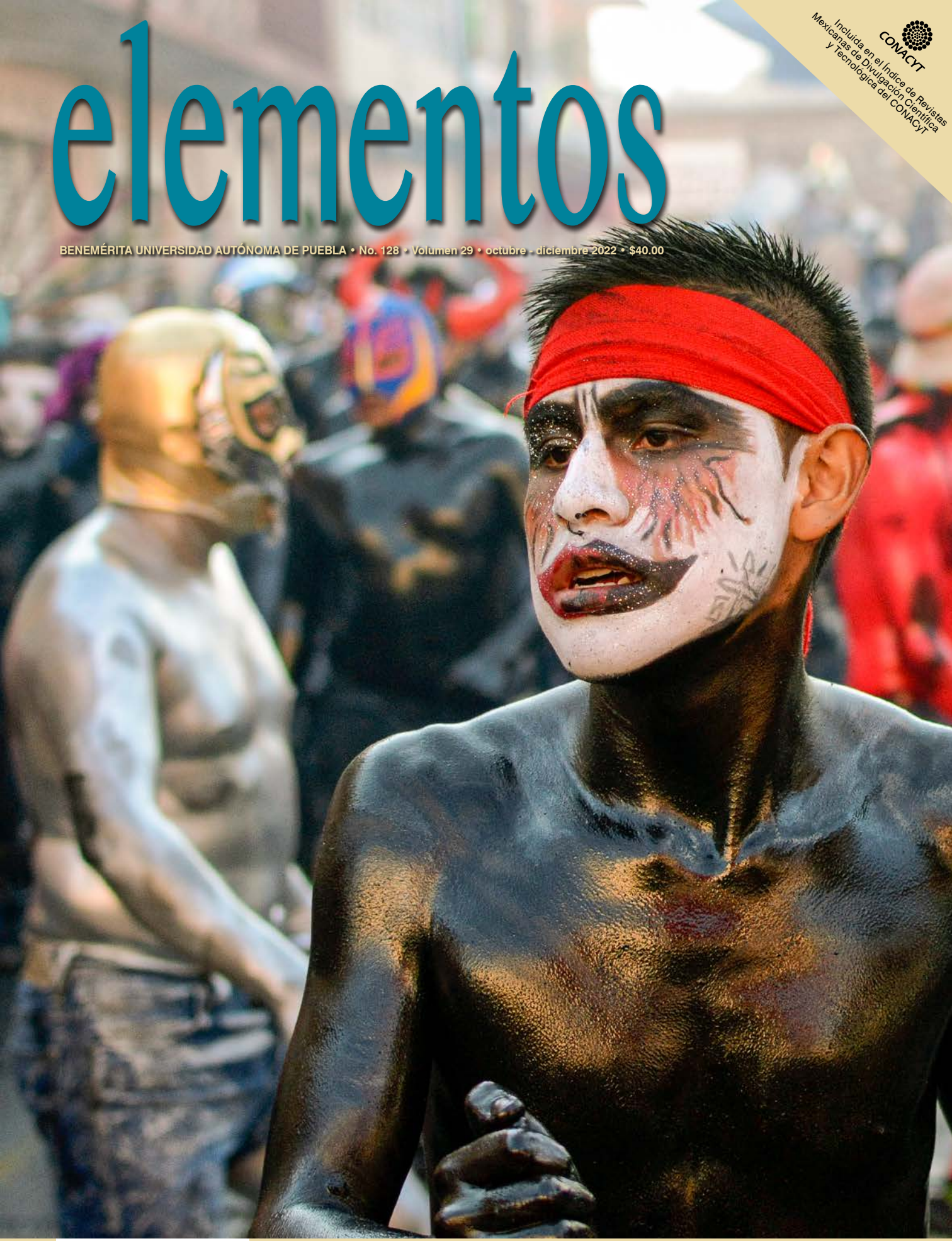
elementos

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA • No. 128 • Volumen 29 • octubre - diciembre 2022 • $40.00

CONACYT
Incluída en el Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica del CONACyT



00128
7 52435 06402 6
EXHIBIR HASTA EL 31-DICIEMBRE-2022

¿Por qué la naturaleza no es perfecta? | Creatividad y ciencia. El origen del pensamiento científico | Las discusiones no son inútiles | La memoria nostálgica en *El amor en los tiempos del cólera* | El paisaje sonoro: la musa en el arte... ¿y en la ciencia? | ¿Cómo se origina el color en las plumas de las aves? | ¿Qué es la fotónica? | ¿Quién tiró pintura verde en el lago? | Microorganismos benéficos o agroquímicos | ¿Suelos en los árboles? | Las microalgas como fuente de vacunas | Procesos de elaboración de tabiques y su impacto en el medio ambiente | El consumo de granada roja: una forma de combatir el estrés oxidativo y la inflamación en enfermedades cardiometabólicas | Mito o realidad: *Equisetum* en la medicina tradicional, un enfoque bioinformático | 75 aniversario del transistor | Los xinacates: fotografías de Emilio Salceda

S U M A R I O

¿Por qué la naturaleza no es perfecta? 3
José Antonio **González Oreja**

Creatividad y ciencia. El origen del pensamiento científico 11
Merced **Montesinos**

Las discusiones no son inútiles 17
José María **Llovet Abascal**

La memoria nostálgica en *El amor en los tiempos del cólera* 23
Noé **Blancas Blancas**

El paisaje sonoro: la musa en el arte... ¿y en la ciencia? 31
José Gerardo **Ham Dueñas**

Los xinacates: fotografías de Emilio Salceda 37
Leopoldo **Noyola**

¿Cómo se origina el color en las plumas de las aves? 41
Mérit **Barrera-Mendoza**, Juan José **Pérez-Rivero**, José A. **Herrera-Barragán**

¿Qué es la fotónica? 45
Jesús Daniel **Valenzuela Sau**

¿Quién tiró pintura verde en el lago? 51
Ana Laura **Aguilar Revilla**, Esther Aurora **Ruiz Huerta**, Juan Miguel **Gómez Bernal**

Microorganismos benéficos o agroquímicos 57
Betsie **Martínez Cano**, Genaro Martín **Soto Zarazúa**

Publicación digital

¿Suelos en los árboles? 65
Elizabeth **Victoriano Romero**, Dulce María **Figueroa Castro**

Las microalgas como fuente de vacunas 71
Jorge A. **Vera-Ramírez**, Dulce L. **Ambriz-Pérez**, David U. **Santos-Ballardo**

Procesos de elaboración de tabiques y su impacto en el medio ambiente 77
Alfonso **Cruz Palma**, Ivonne Areli **Torres López**, Sergio **Zamora**

El consumo de granada roja: una forma de combatir el estrés oxidativo y la inflamación en enfermedades cardiometabólicas 81
Angélica Saraí **Jiménez-Osorio**, José Arias **Rico**, Diego **Estrada-Luna**

Mito o realidad: *Equisetum* en la medicina tradicional, un enfoque bioinformático 87
Roberto **Villagrán Torres**, Jesús **Sandoval Ramírez**, Alan **Carrasco-Carballo**

75 aniversario del transistor 93
Chumin **Wang**, Vicenta **Sánchez**

BUAP

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

ELEMENTOS
www.elementos.buap.mx
revista trimestral de ciencia y cultura
número 128, volumen 29, octubre-diciembre de 2022
director, Enrique Soto Eguibar
subdirector, José Emilio Salceda
diseño y producción gráfica, Mirna Guevara
corrección de estilo, Emilio Salceda y Leopoldo Noyola
sitio web y laboratorio multimedia, Leopoldo Noyola
redes sociales, Mirna Guevara
administración y logística, Lorena Rivera e Ileana Gómez
redacción, 14 Sur 6301, Ciudad Universitaria
Apartado Postal 406, Puebla, Pue., C.P. 72570
email: esoto24@gmail.com

consejo editorial, Itziar Aretxaga (INAOE), Beatriz Eugenia Baca (ICUAP, BUAP), María Emilia Beyer Ruiz (DGDC, UNAM), María de la Paz Elizalde, (ICUAP, BUAP), Ana Lidya Flores Marín (IBERO Puebla), Marcelo Gauchat (FUNDACIÓN FORMA, A. C.), Sergio Segundo González Muñoz (COLPOS Montecillo), Federico Méndez Lavielle (Facultad de Ingeniería, UNAM), Jesús Mendoza Álvarez (CONACYT), Ricardo Moreno Botello (Ediciones de Educación y Cultura), Francisco Pellicer Graham (Instituto Nacional de Psiquiatría), Adriana Pliego Carrillo (Facultad de Medicina, UAEM), Leticia Quintero Cortés (ICUAP, BUAP), José Emilio Salceda (Instituto de Fisiología, BUAP), Gerardo Torres del Castillo (Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, BUAP), Catalina Valdés Baizabal (Laboratorio de Neurobiología Celular, Universidad de La Laguna), Enrique Vergara (ICUAP, BUAP)
obra gráfica, © Emilio Salceda
forros, © *Xinacates*, San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

CINTILLO LEGAL
ELEMENTOS, Año 37, No. 128., octubre a diciembre de 2022, es una publicación trimestral editada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con domicilio en 4 Sur número 104, Col. Centro, C. P. 72000, Puebla, Pue., y distribuida a través de Revista Elementos, con domicilio en Av. 14 Sur No. 6301, Col. San Manuel, Puebla, Pue. C. P. 72570. Tel. 222 229 55 00 ext. 7316. Editor responsable Dr. Enrique Soto Eguibar, esoto24@gmail.com. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2018-101113435900-102. ISSN 0187-9073, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Cultura. Número de Certificado de Licitud de Título y Contenido (en trámite) en la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Este número se terminó de imprimir en septiembre de 2022. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

CONACYT ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

www.elementos.buap.mx

¿Por qué la naturaleza no es perfecta?

José Antonio **González Oreja**

Desde 1998, el doctor Íñigo Zuberogoitia estudia la población de halcones peregrinos (*Falco peregrinus*) de Vizcaya, en el País Vasco, norte de España. Utilizando arriesgadas técnicas de escalada en roca, Zuberogoitia y sus colaboradores descienden cada primavera a los nidos de la especie dentro de su área de estudio y analizan así su éxito reproductor, entre otras variables biológicas y ecológicas. Además de dar a conocer los resultados de su trabajo en revistas científicas de reconocido prestigio internacional (véase, por ejemplo, Zuberogoitia *et al*., 2018), el doctor Zuberogoitia comparte en Facebook muchas de las aventuras, venturas y desventuras ligadas a su trabajo de campo. Así, en mayo de 2022 narró las vicisitudes de cierta pareja de halcones cuyo nido, emplazado en un abrupto acantilado costero, se enfrenta a las borrascas del mar Cantábrico, que dejan fuertes vientos y lluvias. En general, el éxito reproductor de la especie se reduce como consecuencia de estas adversidades meteorológicas.

También en Facebook, el biólogo Juan Manuel Pérez de Ana se preguntaba cómo es posible que los peregrinos y otras especies de aves sigan ubicando sus nidos en emplazamientos como este, que acarrean bajos valores de éxito reproductor, y que por ello resultan claramente subóptimos. En otras palabras: por qué, después de muchos millones de años de evolución, la selección natural no ha optimizado aún esta característica.

O, en general, por qué la naturaleza no es perfecta.

BREVÍSIMA (E IMPERFECTA) HISTORIA DE LA IDEA DE PERFECCIÓN EN BIOLOGÍA

La creencia de que en la naturaleza existe una tendencia hacia la perfección y el progreso, una idea propia de lo que Mayr (2002) llamó teleología cósmica, puede encontrarse de una u otra forma en muchos pueblos primitivos y en muchas religiones organizadas. Desde la teoría de las formas de Platón (entidades abstractas, más allá del espacio y del tiempo: eternas, inmutables y perfectas), pasando por las series orgánicas de Aristóteles (precursoras de la *scala naturae*, la gran cadena de los seres[1] de la escolástica medieval y el Renacimiento), la idea de que el mundo natural progresa hacia una mayor perfección a través de las leyes de Dios fue incorporada también al pensamiento de la Ilustración.

Al menos en parte, debemos nuestra incómoda familiaridad con esta idea a Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, Caballero de Lamarck (1744-1829), quien a comienzos del siglo XIX desarrolló la que se considera como primera teoría sobre la evolución de la vida. La evolución consiste, según Lamarck, en el origen por generación espontánea de un ser vivo simple e imperfecto, y su gradual transformación en una especie superior y más perfecta. Para Lamarck, podemos ordenar el mundo animal en una serie evolutiva de perfección creciente, según la complejidad de su organización, serie que culmina con el ser humano. Lamarck consideró que la perfección de los animales estaba relacionada con su grado de complejidad y organización, no con su adaptación al medio ambiente, ni con su función en la economía de la naturaleza.

Cuando el conocimiento científico disponible permitió concluir que el mundo no era constante, ni de origen reciente, la teleología cósmica dejó de ser considerada como una explicación "racional" del mundo natural. La ciencia acepta hoy día que no hay ninguna tendencia cósmica hacia el progreso o la perfección: cualquier cambio o tendencia que se observe en el mundo vivo a lo largo de la historia es el resultado de la acción de las leyes naturales y de la selección natural (Mayr, 2002). Las ideas de Lamarck sobre la evolución transformativa de los seres vivos, que fueron ampliamente aceptadas en su tiempo y perduraron hasta mediados del siglo XIX, comenzaron a caer en el olvido cuando Charles Darwin publicó, en 1859, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* (de aquí en adelante, *El origen de las especies*).

La evolución por selección natural ha dado forma a seres vivos que, en muchas ocasiones, parecen estar maravillosamente adaptados a los factores ambientales en los que se desarrollan las diversas fases de sus ciclos de vida. Es más, como criticó Mayr (2002), algunos entusiastas han afirmado que la evolución por selección natural puede lograrlo todo. El propio Darwin observó, metafóricamente, que

> [...] la selección natural está buscando cada día y cada hora por todo el mundo las más ligeras variaciones; rechazando las que son malas; conservando y sumando todas las que son buenas; trabajando silenciosa e insensiblemente, cuandoquiera y dondequiera que se ofrece la oportunidad, por el perfeccionamiento de cada ser orgánico en relación con sus condiciones orgánicas e inorgánicas de vida (*El origen de las especies*,[2] capítulo 4).

Esto no es cierto y, como veremos más adelante, las opciones de las que dispone la selección natural son limitadas. En realidad, Darwin aclaró que

> [...] La selección natural no producirá perfección absoluta, ni, hasta donde podemos juzgar, nos encontraremos siempre en la naturaleza con este tipo superior (*El origen de las especies*, capítulo 6).

Así pues, en la naturaleza, la imperfección es la norma. Pero, ¿por qué?, ¿qué razones hacen que los seres vivos no estén perfectamente adaptados

© Emilio Salceda. *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

a los factores ambientales que condicionan sus respuestas biológicas y ecológicas?

AUSENCIA DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA NECESARIA

En la década de 1930, J. B. S. Haldane observó que, aunque contásemos con el suficiente conocimiento y el poder necesario para combinar a capricho los genes disponibles en la especie humana, nunca podríamos obtener de este experimento una raza de ángeles: ya fuera por el carácter moral, ya por las alas, tendríamos que generar artificialmente las mutaciones necesarias, o esperar indefinidamente a que se produjeran de modo natural (Bergstrom y Dugatkin, 2016).

La selección natural es un proceso en dos fases. La primera es la producción de las variantes fenotípicas que existen dentro y entre las poblaciones; y la segunda, la supervivencia y reproducción diferencial de unas variantes frente a otras. Ante el cambio en los factores ambientales, la selección natural podría no acarrear la mejor adaptación posible si es que la diversidad genética necesaria no está disponible en ese momento en el conjunto de alelos de todos los genes de la población (es decir, en su acervo génico). Este puede ser el caso de ciertos grupos de seres vivos actuales, en los que no han evolucionado rasgos adaptativos para ciertos factores ambientales (Futuyma y Kirkpatrick, 2017).

LIMITACIONES PROPIAS DE LA GENÉTICA DE LOS CARACTERES

Aunque la diversidad presente en los acervos génicos de las poblaciones sí permitiera la evolución de caracteres adaptativos, ciertas limitaciones genéticas podrían impedir la evolución de adaptaciones perfectas. Cabe incluir aquí a los genes con efectos pleiotrópicos, cuya expresión afecta a varios caracteres de los seres vivos. Los genes con efectos pleiotrópicos antagonistas resultan de especial relevancia para entender por qué hay adaptaciones imperfectas: bajo ciertas condiciones ambientales, la mutación de uno de estos genes acarreará efectos positivos (es decir, ligados a una ganancia de eficacia biológica), pero negativos (o sea, ligados a una pérdida de eficacia biológica) en condiciones distintas (Bergstrom y Dugatkin, 2016). En nuestra especie, los genes con efectos pleiotrópicos antagonistas desfasados en el tiempo permiten entender, por ejemplo, la evolución de numerosos caracteres deletéreos asociados a la senescencia (Sherratt y Wilkinson, 2009).

Por otro lado, en seres vivos diploides, como nosotros, si un individuo heterocigoto para cierto locus presenta una mayor eficacia biológica que cualquiera de los homocigotos para el mismo

© Emilio Salceda. *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

locus, la evolución por selección natural conducirá a un equilibrio poblacional en el que estarán presentes los tres genotipos posibles. Por lo tanto, en la medida en que ciertos atributos biológicos sigan un modelo como este (es decir, sobredominancia o ventaja del heterocigoto), al menos una fracción de la población va a mostrar un grado de adaptación imperfecto para tales atributos y estará compuesta por individuos subóptimos.

LIMITACIONES PROPIAS DE LA BIOLOGÍA DEL DESARROLLO DE LOS SERES VIVOS

Las limitaciones del desarrollo hacen referencia a sesgos en la generación de variantes fenotípicas que se deben a la composición, la estructura o la dinámica de los sistemas de desarrollo de los seres vivos (Ridley, 2004). Diferentes grupos de seres vivos han evolucionado distintos mecanismos de desarrollo, y el modo de desarrollo de un ser vivo concreto influye sobre la naturaleza de las mutaciones que pueden ocurrir en él, así como sobre las tasas de ocurrencia de tales mutaciones.

Las limitaciones del desarrollo pueden deberse a diferentes razones. A principios del siglo XIX, los estudiosos de la morfología se dieron cuenta de que los diversos componentes de un ser vivo no son independientes entre sí: durante su desarrollo, cuando responden ante la selección natural, interfieren unos con otros (Mayr, 2002). En general, la estructura y el funcionamiento de los seres vivos son el resultado de numerosos compromisos entre las partes que los constituyen. El desarrollo de una de estas partes (por ejemplo, órganos de un cuerpo) no puede darse de forma aislada del desarrollo de las demás. Más adelante veremos otros ejemplos de compromisos evolutivos que limitan la perfección de las adaptaciones.

LIMITACIONES PROPIAS DE LA HISTORIA FILOGENÉTICA

En general, la evolución por selección natural procede mediante pequeños cambios graduales que resultan adaptativos. La selección natural no puede favorecer respuestas que acarrean pérdida de eficacia biológica en el presente por mucho que puedan implicar ganancias en el futuro. Como puede comprenderse gracias a la metáfora de Sewall Wright sobre el paisaje adaptativo, la selección natural podría dirigir una población hacia un pico adaptativo local, pero no global, en el cual podría permanecer "atrapada" porque los cambios evolutivos pequeños no resultasen adaptativos (Ridley, 2004). Algunas poblaciones naturales podrían estar imperfectamente adaptadas a los factores ambientales actuales (es decir, "maladaptadas")

como consecuencia de "accidentes" históricos que llevaron a sus ancestros en direcciones evolutivas que más tarde resultaron no ser las óptimas. Es más, en ecología siempre podemos encontrar una escala espacial o temporal a la cual detectar el cambio en los factores ambientales. Por lo tanto, si los factores ambientales no son constantes (y siempre están cambiando, lenta o rápidamente), entonces el paisaje adaptativo cambia, y los seres vivos del presente podrían estar adaptados a los factores ambientales del pasado. Más adelante hablaremos de cómo los desfases temporales entre los cambios ambientales y la selección natural limitan la perfección de las adaptaciones.

COMPROMISOS[3] EVOLUTIVOS ENTRE DISTINTAS NECESIDADES ADAPTATIVAS

Muchos caracteres de los seres vivos cumplen varias funciones y sus adaptaciones son el resultado de un compromiso evolutivo entre unas y otras. Si consideramos los caracteres por separado, de forma aislada, como si fueran el resultado de la evolución por selección natural para cumplir solo *una* función, es posible que aparezcan como una adaptación imperfecta.

En general, no es posible optimizar a la vez la asignación de recursos (por ejemplo, energía, tiempo) destinados a la supervivencia del individuo vs. la reproducción. Como otro ejemplo, cuando los recursos son limitados, una planta podría destinar más nutrientes a producir un mayor *número* de semillas, pero solo reduciendo el *tamaño* de las mismas, o de otras partes de su estructura (Futuyma y Kirkpatrick, 2017). Los seres vivos son, en realidad, complejos mosaicos de compromisos evolutivos y, como ya hemos visto, no hay nada gratis, todo tiene un precio... aunque pueda estar inicialmente oculto (Dawkins, 2009).

AUSENCIA DE RESPUESTA EN CARACTERES QUE SE EXPRESAN DESPUÉS DE LA REPRODUCCIÓN

Aunque ciertos caracteres impliquen pérdida de eficacia biológica y provoquen una adaptación imperfecta, la selección natural no puede actuar en su contra si se expresan después de la reproducción (es decir, cuando ya se han transmitido a la descendencia; Mayr, 2002). Es el caso de numerosas características genéticas que acarrean pérdida de eficacia biológica, como la enfermedad de Alzheimer o el mal de Parkinson, y que generalmente se presentan en los seres humanos en edades posreproductivas (Sherratt y Wilkinson, 2009).

DESFASES TEMPORALES ENTRE LOS CAMBIOS AMBIENTALES Y LA ACCIÓN DE LA SELECCIÓN NATURAL

Las adaptaciones que muestran los seres vivos pueden ser imperfectas debido a desfases temporales entre los cambios en los factores ambientales y la respuesta de la selección natural (Ridley, 2004). En general, las condiciones ambientales y los recursos naturales que configuran el medio ambiente de los seres vivos pueden variar en el espacio y en el tiempo de forma rápida, incluso brusca; pero el cambio en la frecuencia de los caracteres adaptativos en el seno de las poblaciones, resultado de la selección natural, es más lento y requiere de más tiempo. Este desfase temporal entre uno y otro tipo de cambio (o sea, ambiental vs. evolutivo) contribuye a entender la existencia de adaptaciones imperfectas.

PLASTICIDAD FENOTÍPICA

La capacidad que tiene un genotipo de expresarse en distintos fenotipos (es decir, conjuntos de caracteres biológicos observables) ante una misma condición ambiental se denomina plasticidad fenotípica, y la relación flexible que se establece entre el fenotipo y el conjunto de condiciones ambientales se conoce como norma de reacción. En general, cuanto más plástico sea un fenotipo (es decir, cuanto más amplia y diversa sea su norma de reacción), mayor será su independencia evolutiva frente a la selección natural (Mayr, 2002). Esta capacidad de modificación no genética del fenotipo es en sí un carácter biológico, y por lo tanto

está sujeto a la acción de la selección natural. Pero, como ocurre con cualquier otro atributo o rasgo biológico, también puede acarrear adaptaciones imperfectas (Mills *et al*., 2013). Para más información sobre la relevancia evolutiva de la plasticidad fenotípica, véase Pfennig (2022).

FENÓMENOS ALEATORIOS

Una parte de las características biológicas que generan diferencias en la supervivencia y la reproducción entre los individuos de una población, y entre poblaciones diferentes, puede no ser el resultado de la selección natural, sino del mero azar. En numerosas fases de la reproducción de seres vivos diploides, como nosotros, hay fenómenos aleatorios. Estos van desde la formación de gametos haploides que, como resultado del sobrecruzamiento durante la meiosis, dan lugar a nuevas combinaciones de los genes presentes en los cromosomas parentales, hasta la formación de zigotos diploides que integran, al azar, información genética de ciertos gametos, pero no de otros.

Recordemos la anécdota (quizás apócrifa) según la cual, cuando se conocieron, Marilyn Monroe preguntó a Albert Einstein: "¿Qué dice, profesor, deberíamos casarnos y tener un hijo juntos? ¿Se imagina un bebé con mi belleza y su inteligencia?". A lo que Einstein, esbozando una sonrisa, contestó: "Desafortunadamente, me temo que el experimento salga a la inversa y terminemos con un hijo con mi belleza y con su inteligencia".

Combinaciones genéticas que darían lugar a caracteres favorables ante la selección natural pueden ser eliminadas de forma indiscriminada por accidentes ambientales. El hecho de que se hayan extinguido la inmensa mayoría de las formas vivas que alguna vez han habitado la Tierra ilustra que la evolución de la vida no implica un progreso constante hacia una perfección cada vez mayor.

Más bien, la evolución es un proceso en gran parte impredecible, en el que incluso los seres vivos mejor adaptados a su medio ambiente pueden ser bruscamente eliminados por una catástrofe (Mayr, 2002).

© **Emilio Salceda**. *Xinacates*.
San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

LAS REGLAS DEL JUEGO SON INVIOLABLES

La evolución por selección natural ha generado incontables maravillas, características biológicas de todo tipo *casi* perfectas en el desarrollo de su función. Pero, en última instancia, el grado de perfección está limitado por las leyes de la física y de la química, que gobiernan el comportamiento de los materiales con los que se construyen las adaptaciones de los seres vivos. En este sentido, la selección natural está sometida a las mismas limitaciones a las que se enfrentan los ingenieros en el mundo de las construcciones humanas.

Son bien conocidas las limitaciones que impone el tamaño corporal sobre numerosas características biológicas y ecológicas de los seres vivos. Matemáticamente, las leyes que gobiernan las relaciones entre estas características y el tamaño corporal suelen ser de tipo exponencial, y dan lugar a funciones que se conocen como alométricas (Villar *et al*., 2012). La comprensión de estas funciones alométricas nos permite responder a preguntas tan interesantes como la siguiente: ¿Por qué no hay, en la naturaleza, animales del tamaño de un elefante... pero con extremidades alargadas, delgadas y frágiles como las de un opilión? Curiosamente,

© Emilio Salceda. *Xinacates*.
San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

la imaginación de Salvador Dalí dio forma a estos seres en *La tentación de San Antonio* (1946), aunque para ello tuviera que violar (probablemente de forma inconsciente) las leyes de escala que se relacionan con el tamaño corporal (Bergstrom y Dugatkin, 2016).

COLOFÓN: LA "TALACHA" EVOLUTIVA

La teoría de la evolución por selección natural nos permite entender el hecho de que los seres vivos estén razonablemente bien adaptados a su medio ambiente. Pero la abundancia de caracteres subóptimos en la naturaleza sugiere que la evolución se ha desarrollado sin ningún plan maestro dirigido a la perfección, como me gusta aclarar a mis alumnos de Evolución.

Hemos visto que hay muchas razones, y muy diversas, por las cuales la selección natural no conduce a la perfección. A modo de resumen: las adaptaciones están limitadas por la materia prima disponible (*De donde no hay, no se puede sacar*), así como por las relaciones entre el genotipo y el fenotipo, gobernadas por su eficacia biológica. Además, la biología del desarrollo condiciona los tipos de mutaciones posibles, y sus tasas, en los distintos grupos de seres vivos. La historia filogenética también deja su impronta en las adaptaciones (*Atrapado por su pasado*).

En realidad, los seres vivos son mosaicos de adaptaciones, y en general no es posible optimizar a la vez unos y otros caracteres: siempre hay costes, aunque estén ocultos (*No hay café gratis*). Si los caracteres deletéreos se expresan después de la reproducción, entonces la selección natural es incapaz de mejorar el diseño de los seres vivos.

En cualquier caso, los cambios ambientales suelen ser (mucho) más rápidos que la evolución por selección natural, lo que acarrea un mal ajuste de los seres vivos a su medio ambiente (o sea, "maladaptación"). A lo anterior hay que añadir los efectos de la modificación no genética del fenotipo propia de la plasticidad fenotípica, y de los fenómenos aleatorios, que no están ligados a las diferencias en eficacia biológica (*Cuestión de suerte*). En fin, las adaptaciones solo son posibles si se respetan las leyes de la física y de la química, lo que explica la inexistencia de muchos caracteres imaginables (*Por encima de la ley, nadie*).

Como explicó magistralmente Jacob (1977), la evolución por selección natural no actúa como, en buena lógica, podríamos esperar de un ingeniero cabal: buscando de antemano alcanzar la perfección mediante un diseño óptimo, que no deja nada al azar. Más bien, la selección natural se comporta, metafóricamente, como un zapatero remendón: aprovechando como buenamente puede los recursos de los que ya dispone en ese momento, aunque no sean los mejores.

En este sentido, me gusta pensar en la selección natural como la "talacha" evolutiva.

NOTAS

[1] La gran cadena de los seres fue bellamente ilustrada, entre otros, por Fray Diego de Valadés en su *Rethorica Christiana* (1579). Fray Diego, natural de Tlaxcala, México, fue un misionero franciscano, historiador y políglota de la Nueva España, que se desempeñó también como dibujante y grabador.

[2] Las citas textuales en español son de la traducción de Antonio de Zulueta (1921) a la primera edición de *On the Origin of Species*. Disponible en internet, por ejemplo, en la Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes: https://www.cervantesvirtual.com/obra/el-origen-de-las-especies-por-medio-de-la-seleccion-natural--0/.

© Emilio Salceda. *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

[3] En inglés, se suele presentar la sigla TANSTAAFL para hacer referencia a la frase *There ain't no such thing as a free lunch*, popularizada en la novela de ciencia ficción *The Moon Is a Harsh Mistress*, de Robert A. Heinlein (1966). Milton Friedman, Premio Nobel de Economía (1976), también la utilizó frecuentemente, así como su versión en latín: *Nunquam prandium liberum*. Traducida literalmente, significa: "No hay tal cosa como un almuerzo gratis", y más coloquialmente podemos identificarla con "No hay café gratis", o "Nadie regala nada". Es decir, siempre hay costos ocultos. También en evolución.

REFERENCIAS

Bergstrom CT and Dugatkin LA (2016). *Evolution*. Second Edition. New York: Norton.

Dawkins R (2009). *The Greatest Show on Earth: The Evidence for Evolution*. New York: Free Press.

Futuyma DJ and Kirkpatrick M (2017). *Evolution*. Fourth Edition. Sunderland: Sinauer.

Jacob F (1977). Evolution and tinkering. *Science*, 196 (4295):1161-1166.

Mayr E (2002). *What Evolution Is*. London: Phoenix.

Mills SL, Zimova M, Oyler J, Running S, Abatzoglou JT and Lukacs P (2013). Camouflage mismatch in seasonal coat color due to decreased snow duration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(18):7360-7365.

Pfennig SW (2022). Evolution and the flexible organism. *American Scientist*, 110:94-101.

Ridley M (2004). *Evolution*. Third Edition. Malden: Blackwell.

Sherratt TN and Wilkinson DM (2009). *Big Questions in Ecology and Evolution*. Oxford: Oxford University Press.

Villa R, López C y Cussó F (2012). *Fundamentos Físicos de los Procesos Biológicos. Vol. 1. Biomecánica y Leyes de Escala*. San Vicente: Club Universitario.

Zuberogoitia I, Morant J, Castillo I, Martínez JE, Burgos G, Zuberogoitia J, Azkona A, Ruíz Guijarro J and González Oreja JA (2018). Population trends of Peregrine Falcon in Northern Spain-Results of a long-term monitoring project. *Ornis Hungarica*, 26(2):51-68.

José Antonio González Oreja
Facultad de Ciencias Biológicas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
jgonzorj@hotmail.com

www.elementos.buap.mx

Creatividad y ciencia. El origen del pensamiento científico

Merced **Montesinos**

Es difícil saber cómo o en qué momento se origina el pensamiento científico en un niño, en un adolescente, en un joven. Seguramente el origen es multifacético; hay diferentes maneras en que los seres humanos nos inclinamos por la ciencia. Sin embargo, la duda y la curiosidad son elementos que siempre están presentes en las investigaciones de los científicos como tales. Estos elementos por sí mismos son insuficientes para generar ciencia, y deben ser arropados con el pensamiento lógico y racional y, por supuesto, con el experimento o evidencia observacional.

El problema es que la "*lógica*" de la naturaleza no se conoce *a priori*, debe ser descubierta, y esto vuelve fascinante el quehacer científico. Las reglas o leyes con las que se rige la naturaleza no se conocen, hay que descubrirlas, y el explorar las consecuencias de las mismas puede llevar a descubrir fenómenos aún desconocidos hasta entonces.

En mi caso, la curiosidad por la ciencia comenzó cuando cursaba los estudios de preparatoria. Por supuesto, ya en la secundaria había tenido contacto con conceptos científicos en las diferentes materias que formaban parte de ese nivel de estudios en aquel entonces. Sin embargo, en la preparatoria el impulso y la curiosidad eran más intensos; lo más importante es que eran por iniciativa propia y no porque los profesores me hubiesen

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

dejado tarea sobre temas científicos, como sucedía en la secundaria. Esta diferencia cualitativa es realmente importante. Hacer las cosas por gusto y no por obligación. Siento que este es el punto de inflexión. Es aquí donde se genera un científico.

Se trata de un científico joven, sin preparación, sin herramientas técnicas, o con herramientas muy rudimentarias, que no le permiten aún hacer contribuciones concretas al conocimiento científico que sea de su interés. Sin embargo, este científico joven o científico en potencia tiene a su favor su curiosidad, sus dudas genuinas, el estar libre de prejuicios, y eso no es nada despreciable. Es lo más importante de una carrera científica. Las herramientas técnicas las adquirirá tarde o temprano en la universidad y en los posgrados. La curiosidad y dudas del joven científico se retroalimentarán cada vez más y con mayor intensidad con las herramientas conceptuales y técnicas a medida que va adquiriendo su formación académica ya sea por sí mismo (por medio de libros y su capacidad de razonamiento y comprensión, esencialmente) o mediante la educación formal (universidades, posgrados, etcétera). Y así, sucesivamente, hasta que esa amalgama de cuestionamientos, de exploraciones, de plantear hipótesis, de reinterpretar las cosas y de analizar sus consecuencias dé fruto, el cual no es otra cosa sino conocimiento científico nuevo, de frontera, algo que solo él conoce. El placer que siente el científico es inmenso cuando esto sucede. Generar conocimiento que no está en los libros, ni en las revistas científicas. Eso constituye el nacimiento propiamente hablando de un científico. Hacer investigación y generar conocimiento nuevo es lo que define a un científico.

Es importante enfatizar también que la sola asistencia de jóvenes estudiantes (matriculados o no) a la universidad o a los posgrados no los vuelve científicos, aun cuando de alguna manera consigan un título con reconocimiento oficial que acredite sus estudios. Tener un título solo significa que de alguna manera se obtuvo. Existen casos

© Emilio Salceda. *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

de muy buenos estudiantes, que sobresalen en su generación inclusive, que podrían ser considerados estudiantes de excelencia, pero que no se vuelven científicos al concluir sus estudios formales. ¿Cómo es posible que esto suceda?

Sin duda existen problemas sociales, de salud, económicos, personales, etc., que pueden impedir o truncar el desarrollo profesional. Suponiendo que no se tienen esos problemas, el desarrollo de un joven científico puede limitarse o truncarse por causas inherentes a la formación científica. Hablemos un poco de ello.

Uno de los aspectos por los que un investigador joven recién graduado no termina por volverse científico es porque durante su entrenamiento doctoral no alcanza a desarrollar completamente su capacidad creativa. Los científicos no solo resolvemos problemas científicos, concretos, técnicos o especializados que quizás otros científicos han propuesto (por ejemplo, el director de tesis doctoral o el autor de algún artículo). Lo más importante para un científico, como ya se ha dicho, es su capacidad creativa. Los científicos tenemos que generar ideas, vislumbrar escenarios posibles y ser capaces de resolver los problemas creados mediante el raciocinio, mediante la lógica, mediante el análisis, mediante la intuición, inclusive. Esto no es trivial. La parte creativa es parte del entrenamiento doctoral, por supuesto, pero no forma parte de una materia en sí, no forma parte de los cursos formales.

Nadie te enseña a crear, no se puede. La capacidad creativa surge de la manera de concebir las cosas, de embonar la estructura conceptual aprendida, de replanteársela constantemente, de buscar huecos en la estructura teórica y experimental, de buscar alternativas a las interpretaciones usuales, de confrontar permanentemente la teoría con el experimento y las observaciones. La capacidad creativa emana de buscar compatibilidad entre lo que se observa y lo que se conoce, de buscar coexistencia entre experimento y teoría. Es un ir y

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

venir constante, es una confrontación permanente de los fundamentos teóricos con los resultados experimentales y observacionales. Este proceso intelectual es un proceso de creación constante, cotidiano. Un científico no trabaja únicamente de 8 am a 5 pm de lunes a viernes y descansa los fines de semana. Un científico trabaja siempre, de noche, de madrugada, en fin de semana, días festivos, etcétera. Ser científico no es una profesión cualquiera, es una forma de vida.

Otro aspecto que limita el desarrollo de un científico es la formación académica formal recibida durante sus estudios doctorales. Los estudios doctorales en ciencias especializan a los doctorantes en un tema dado, vuelven expertos a los estudiantes en alguna subárea de especialidad. Por lo tanto, un estudiante que se gradúa con un conocimiento general o superficial no está bien formado, no ha terminado de formarse. Una formación deficiente depende de muchos factores: del posgrado donde se estudia, de las materias que se llevan, del nivel de profundidad de las mismas, de la calidad de las clases, de un ambiente poco propicio del posgrado donde se estudia, de la falta de infraestructura del posgrado, etcétera. No hay posgrado perfecto. El doctorante tiene que solventar esas carencias de algún modo, adaptarse y llenar huecos que desgraciadamente tiene la formación doctoral. La forma como se llenan esos huecos, nuevamente, es muy diversa: mediante la colaboración con otros colegas (más expertos), mediante seminarios, auto estudio, etcétera.

Otro aspecto que es muy importante y, en cierta medida, crucial para la formación académica de un científico, es su asistencia y participación en eventos científicos internacionales en su subárea de especialidad.

En México, por limitaciones presupuestales de los posgrados, se fomenta poco esta actividad. Es una desgracia para los estudiantes doctorales mexicanos. ¿Por qué? Porque el estudiante tiene que exponer su trabajo en foros científicos

© Emilio Salceda. *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

internacionales, donde seguramente harán críticas constructivas a su trabajo de investigación que le permitirán ponderar y tener una valoración más realista de su actividad científica, de sus investigaciones, de sus resultados.

Al mismo tiempo, esa asistencia y participación en congresos le permitirá interactuar con otros científicos y darse cuenta de sus propias capacidades y limitaciones, aprender de otros científicos, confrontar ideas, puntos de vista, etcétera. Estas experiencias son invaluables, pues permiten también acercarse a conocimiento de frontera que otros científicos desarrollan desde otras perspectivas. Asistir a los congresos profundiza el conocimiento que el estudiante tiene y le permite adquirir nuevo conocimiento.

Los congresos permiten el intercambio de ideas y es muy frecuente que de ese intercambio surjan colaboraciones que permitan avanzar más rápidamente en las líneas de investigación de los participantes; es usual que de las conversaciones surjan nuevos proyectos, impensables o insospechados hasta entonces. Los congresos son, pues, terreno fértil para el desarrollo de la actividad científica. Cuando los doctorantes no asisten a los congresos durante su entrenamiento doctoral limitan su formación académica.

El diálogo frecuente, permanente, con otros colegas estudiantes doctorales, con los profesores de los cursos, con el director de tesis doctoral, con otros investigadores es muy útil para confrontar ideas, para replantearse las cosas, para ver las cosas de manera diferente.

Esta actividad tiene que realizarse siempre durante el entrenamiento doctoral, pero requiere la existencia de una comunidad científica de una dimensión tal que permita un intercambio real de ideas y puntos de vista. Las comunidades muy pequeñas carecen de la posibilidad real de intercambio científico.

Quiero terminar el texto enfatizando a los estudiantes, futuros científicos, que deben estar atentos

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

a aquellos aspectos que limitan el desarrollo de un joven científico mencionados previamente, pero, sobre todo, poner atención al desarrollo de su capacidad creativa; hacer lo más que puedan en esa dirección, pues, como se ha mencionado en el texto, eso no forma parte de los cursos formales y, entonces, corren el riesgo de que esa habilidad no madure, lo cual afectará su formación y desempeño como científicos. La creatividad es la parte esencial de la actividad científica.

El pensamiento científico sin ideas novedosas resulta ser pobre. Los doctorantes no deberían tener temor a reinterpretar o cambiar la explicación de las cosas, si las interpretaciones que forman parte de los paradigmas actuales (Kuhn, 2006) no los convencen. Deberían ir –con su capacidad creativa– más allá de lo establecido, si realmente se quiere trascender como científico.

BIBLIOGRAFÍA

Kuhn, TS (2006). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. Tercera Edición . México: Fondo de Cultura Económica.

Merced Montesinos
Departamento de Física
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional
merced@fis.cinvestav.mx

www.elementos.buap.mx

Las discusiones no son inútiles

José María **Llovet Abascal**

LA LEY DE GODWIN Y EL FRACASO DE LAS DISCUSIONES

La ley de Godwin, atribuida al escritor y abogado Mike Godwin, establece que, si una discusión en línea se prolonga lo suficiente, es solo una cuestión de tiempo hasta que alguno de los participantes compare a otro con Adolf Hitler o lo llame nazi.

¿Por qué resulta tan difícil dialogar con quienes no comparten nuestros puntos de vista? Buena parte de las discusiones suele terminar con descalificaciones, insultos, lágrimas y, ahora que discutimos también en línea, con mensajes como "Fulano ha abandonado el chat" o "Zutano te ha bloqueado". Los protagonistas de la discusión explican así su fracaso: "Es que no sabe nada", "Es muy terco", "No razona".

Pero en el fondo todos intuimos que el principal problema es de otra naturaleza: no es la ignorancia sobre el tema ni la incapacidad para seguir un argumento, lo que sucede es que las emociones intervienen y se apoderan del debate.

Conclusión: "Discutir es inútil: no tiene caso porque nunca se llega a nada. Las discusiones solo generan divisiones". De ahí las reglas de muchas familias: "No se habla de religión, política ni futbol". La idea es que convivamos con nuestras diferencias sin mencionarlas nunca.

Pero hay un riesgo también en nunca discutir nada: estamos renunciando a comprendernos. Si nunca hablamos sobre temas sensibles que nos definen y nos importan,

¿cómo vamos a saber qué piensa el otro, por qué lo piensa y cómo se siente al respecto? Discutir puede crear divisiones, pero no hacerlo también.

NO ENTENDEMOS LO QUE EL OTRO PIENSA

El riesgo de no discutir o de discutir siempre mal, peleando, es que terminemos perdiendo la capacidad de comunicarnos con los otros, lo cual nos incapacita también para convivir con ellos. Vivimos en tiempos de creciente polarización. En casi todos los países democráticos las sociedades están divididas en dos grandes grupos que se detestan. En Estados Unidos es más difícil actualmente que sobreviva un matrimonio demócrata-republicano que otro entre personas de religiones o etnias diferentes. En México la división más palpable es la que existe hoy entre los defensores de la Cuarta Transformación y sus detractores. En este contexto parece que lo sensato es no discutir. Pero quizá estemos tan divididos porque somos cada vez menos capaces de comprender lo que el otro dice.

Interrogue a cualquier persona que tiene una convicción fuerte sobre un asunto polémico y pídale que reconstruya la postura opuesta. Quizá la primera vez lo haga de manera burlona y simplista, es normal. Pero ahora pídale que lo haga en serio. Por lo general la reconstrucción de la postura no será mucho mejor. ¿Qué es lo que defiende una persona *pro-choice*, según una persona provida, por ejemplo? "Su 'supuesto' derecho a matar bebés". ¿Qué es lo que defiende una persona provida, según una persona *pro-choice*? "Quieren negarle a una mujer el derecho a decidir sobre su cuerpo". De acuerdo, pero según ellos, ¿qué es lo que están defendiendo? Nunca he visto una pancarta que diga "Matar bebés es mi derecho" o "Tu cuerpo no es tuyo, es del Estado".

Cuando se le pide a una persona reconstruir la postura del otro, por lo general no es capaz de hacerlo al margen de su propia opinión sobre el asunto. Si uno cree que el socialismo empobrece a las personas, entonces automáticamente cree que los socialistas lo que quieren es una fábrica mundial de pobres. ¿Por qué alguien querría multiplicar la pobreza? Es ridículo, pero del otro lado no es muy diferente: la gente de izquierda, en general, cree que la gente de derecha lo que quiere es un mundo más opresivo y desigual: quiere un mundo con más racismo, xenofobia, misoginia, homofobia, transfobia y, por supuesto, la mayor desigualdad posible. ¿Y por qué les resulta inspirador un mundo así? Pues porque son de derecha, es decir, son por definición ignorantes, tontos y malvados.

Si lo que acabo de describir le resulta familiar, quizá piense que este tipo de posturas ridículas están generalizadas solamente entre las personas con pocos estudios. Pero no es así. La iniciativa *More in Common*, surgida en Estados Unidos en 2017, ha elaborado una serie de investigaciones para mostrar que la percepción que tienen los demócratas de los republicanos y los republicanos de los demócratas no se ajusta mucho a la realidad. A través de encuestas han tratado de mostrar que existe una "brecha perceptiva" (*perception gap*) en ambos grupos. Pero una de las conclusiones más sorprendentes a la que han llegado es que entre los republicanos tener más estudios no aumenta ni disminuye la brecha perceptiva (que es considerable), mientras que entre los demócratas la brecha perceptiva aumenta significativamente. Es decir, mientras más estudios tiene un demócrata, se vuelve menos capaz de describir de manera realista las posturas de los republicanos.

> Este efecto es tan fuerte que un demócrata sin un diploma de bachillerato es tres veces más asertivo que alguien con estudios de posgrado (*More in Common*).

NUESTRA MATRIZ MORAL ESTÁ EMOCIONALMENTE CONFIGURADA

¿Por qué resulta tan difícil comprender lo que el otro dice, quiere y siente? El psicólogo social estadounidense Jonathan Haidt publicó en 2012 un libro titulado *The Righteous Mind: Why Good People are Divided by Politics and Religion* (publicado en

2019 por Editorial Deusto como *La mente de los justos: por qué la política y la religión dividen a la gente sensata)*. Este libro explica desde la psicología experimental cómo funciona lo que Haidt llama "la mente moral". Se trata de mostrar, con base en estudios realizados en los últimos 30 años, algo que numerosos filósofos habían ya señalado desde hace mucho tiempo: que, a la hora de formar creencias, juzgar y tomar decisiones, nuestra razón generalmente juega un papel menor.

Son las emociones las que nos mueven y las que suelen tener la última palabra sobre todo. Eso quiere decir que en un contexto en el cual nuestras convicciones y valores son puestos a prueba, como en una discusión, los argumentos son lo menos importante: lo relevante es lo que sucede al nivel de las emociones. Antes de que seamos conscientes siquiera de lo que una persona está diciendo, ya la hemos juzgado con base en criterios que dependen de la emoción: sabemos si tiene para nosotros credibilidad, si nos cae bien o mal, si nos resulta atractiva, admirable e inspiradora o más bien detestable y censurable. Según Haidt, "Las intuiciones vienen primero, el pensamiento estratégico después" (Haidt, 2019, p. 13 y ss). Esto quiere decir, en pocas palabras, que decidimos qué creer con las emociones y luego nuestra razón se encarga de buscar una justificación creíble y coherente. Si nuestro interlocutor afirma algo que nos resulta incómodo, por más que lo argumente de manera magistral, por más que refute todas nuestras objeciones, no lo creeremos.

Aristóteles sabía hace 24 siglos que para persuadir a alguien sobre algo la credibilidad y la emoción suelen ser recursos más poderosos que los argumentos racionales (pero al final tenía una concepción un poco más optimista del asunto: creía que con los hábitos intelectuales y morales correctos, es decir, con un carácter virtuoso, es posible vivir según la razón). El filósofo escocés David Hume afirmó, por su parte, que "La razón es, y debe ser, solo la esclava de las pasiones, y no puede pretender otro papel que el de servirlas y obedecerlas" (Hume, 2005, 415). Consecuentemente,

© Emilio Salceda. *Xinacates*.
San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

cuando discutimos, cuando confrontamos nuestro punto de vista con el punto de vista de otra persona, la razón es solamente un instrumento al servicio de un amo mucho más poderoso. ¿Y qué quiere ese amo? Tener razón, probar su punto, defender una idea con la que está encariñado.

Lo que Jonathan Haidt quiere es mostrar que lo que ha sido llamado desde hace unos años "la guerra cultural", el enfrentamiento cada vez más violento entre conservadores y progresistas, entre humanistas seculares y grupos religiosos, tiene un componente que no puede ser ignorado: en la superficie es una guerra intelectual entre cosmovisiones que parecen ser inconmensurables; en el fondo es una guerra emocional. Haidt propone, siguiendo parcialmente a Hume y apoyándose en descubrimientos recientes de la psicología experimental, que la mente moral es parecida a una lengua con seis receptores del gusto. Tenemos, por ejemplo, un receptor que hace que sintamos repugnancia cuando presenciamos un acto violento contra una persona vulnerable. Tenemos otro receptor que nos predispone a juzgar positivamente una acción de reverencia hacia algo sagrado. Siguiendo la analogía, nuestro sentido del gusto, tal como ha sido educado por la cultura en la que crecimos, constituye nuestra matriz moral. Según Haidt, los progresistas en Estados Unidos solo tienen altamente desarrollados tres receptores morales, lo cual hace que les importe sobre todo lo que tiene que ver con la equidad, el cuidado a los vulnerables y la defensa de la libertad frente a la opresión. Pero tienen prácticamente bloqueados los receptores mediante los cuales se aprecia lo sagrado y se rechaza la profanación (lo que hace que sean incapaces de entender el patriotismo, la religiosidad y el pudor). Por la educación que han recibido, los conservadores son capaces de experimentar un sentimiento de abandono de uno mismo y de fuerte conexión con el grupo al que se pertenece, lo cual explica también que sean más religiosos, que sean más propensos a alistarse en el Ejército o volverse policías y que se preocupen más por defender los intereses de sus familias y comunidades, mientras que los progresistas se preocupan más por los extraños y por los derechos en abstracto, además de que no suelen darle importancia a la lealtad. Los conservadores tienen altamente desarrollado el sentimiento de respeto por la autoridad, mientras que los progresistas sienten aversión hacia ella (hay que aclarar que Haidt no es conservador, sino progresista).

De acuerdo con Haidt, por lo tanto, no es que seamos incapaces de comprendernos la mayoría de las veces porque en algún momento "las emociones se apoderan de la discusión". Más bien, lo que sucede es que las emociones controlan la discusión desde el principio: nuestra matriz moral se ha configurado con base en ciertas disposiciones con las que nacemos, pero sobre todo con base en la cultura en la que nos criamos y las experiencias de vida que hemos tenido. Esa matriz moral define cómo vemos el mundo y cómo concebimos a los demás, especialmente a quienes poseen una matriz moral muy diferente. Cuando entramos en contacto con esas personas, nuestra razón juega un papel menor a la hora de comunicarnos con ellas, porque en realidad lo que queremos, de manera natural, es defender la matriz moral que nos constituye y rechazar cualquier otra (y esto incluye a los progresistas que tradicionalmente se consideraban tolerantes y liberales, lo cual no les ha impedido convertirse en los principales defensores en el siglo XXI de la censura, el adoctrinamiento activo y la cancelación de todo lo que desafía abiertamente su matriz moral). Nuestra razón hace las proezas más increíbles (en México las llamamos coloquialmente "maromas") para construir justificaciones de las creencias que se desprenden de nuestra matriz moral.

El planteamiento de Jonathan Haidt es interesante e ilustrativo, pero limitado en sus alcances, pues se reduce a mostrar lo que la psicología experimental puede enseñarnos sobre el funcionamiento de la mente moral. Yo creo, en la línea de cierta tradición aristotélica (que él denomina "racionalista") que la razón sí puede configurar creencias sobre asuntos morales y políticos. Es posible,

aunque extremadamente difícil, adoptar creencias y convicciones con base en razones y no solo en emociones. Para eso sirven las virtudes intelectuales, ahora llamadas "virtudes epistémicas", como la humildad (la capacidad de aceptar nuestra ignorancia, nuestra falibilidad y nuestras limitaciones) o la benevolencia (la capacidad de interpretar caritativamente lo que el otro dice). Pero es algo sumamente problemático, pues resulta que estas virtudes no solo son intelectuales, sino también morales, lo cual quiere decir que se desprenden también de nuestra matriz moral. Necesitamos partir de una matriz moral determinada para siquiera preocuparnos por la verdad, la coherencia, la objetividad, etcétera.

DISCUTIR ES MUY IMPORTANTE

Por lo general, las parejas que se mantienen juntas y que tienen relaciones sanas no son las que nunca discuten, sino aquellas que discuten frecuentemente y que gracias a sus discusiones consiguen mejorar su comunicación y resolver sus conflictos (Strickler, 2012). ¿Esto puede ser válido también para las familias y las comunidades más grandes? Haidt no es pesimista: cree que la polarización puede disminuir si de hecho aprendemos a hablar con quienes piensan diferente. Pero hablar, hablar realmente, no puede ser entonces un mero intercambio de argumentos. Tiene que ser una conversación en la que ambas partes estén dispuestas a comprender qué piensa el otro realmente, por qué lo piensa y qué lo mueve. En el contexto político, esto quiere decir que hay que estar dispuestos a adentrarnos en la matriz moral del otro. Es una instancia de lo que el filósofo alemán Georg Gadamer llamó "fusión de horizontes": tenemos que ampliar nuestro horizonte de comprensión, atrevernos a entrar en el mundo del otro para comprender por qué piensa algo que nos resulta tan extraño, repugnante o estúpido.

¿Deberíamos apostar siempre por dialogar y no tanto por discutir? La palabra "diálogo" no resuelve mágicamente todos los problemas. Por lo general dialogamos después de haber discutido. Los diálogos son infrecuentes y generalmente artificiales, es decir, no surgen de manera espontánea en nuestras interacciones, sino que son planeados y ejecutados en ambientes controlados. Si no discutiéramos, ni siquiera tendríamos material para entablar diálogos. Dialogar es la manera más fecunda de intercambiar puntos de vista y entender al otro, y quizá deberíamos intentar que todas las discusiones en algún momento condujeran al diálogo; pero no podemos pretender eliminar las discusiones. Las discusiones pueden ser también estimulantes y fecundas, surgen espontáneamente ante el conflicto y el desacuerdo. La verdad se manifiesta dialécticamente, frente a la contradicción. Quien no ha contrastado sus puntos de vista con alguien que crea lo contrario, probablemente tiene una comprensión ingenua y superficial del tema.

The New York Times documentó en 2019 un experimento social organizado por el Centro de Democracia Deliberativa de la Universidad de Stanford y bautizado "America in One Room" (Badger y Quealy, 2019). Se trató de reunir a 526 personas, de procedencias e ideologías muy diversas, para discutir durante cuatro días sobre política. Cuando

© Emilio Salceda. *Xinacates*. San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

el experimento concluyó, casi todos declararon que sus posturas no habían cambiado en lo más mínimo. Pero muchos afirmaron que entendían mucho mejor a quienes tenían posturas diferentes. Cuando comenzó el experimento, el 30 % de los participantes creía que la democracia estadounidense era funcional. Al finalizar el experimento el 60 % lo creía.

Si alguna vez despertamos y nos parece encontrarnos en un mundo en armonía perfecta, sin conflicto aparente, estamos en el cielo o bajo un régimen totalitario. Las democracias modernas están construidas bajo la premisa de que la libertad produce diversidad y la diversidad lleva inevitablemente a desacuerdos y conflictos. Pero estar en desacuerdo y tener conflictos no es necesariamente un impedimento para la convivencia pacífica y la construcción de consensos. El diálogo y las discusiones son necesarios para el buen funcionamiento de una democracia y en general de cualquier asociación de personas libres. La democracia mexicana será una democracia más funcional y avanzada cuando aprendamos a discutir mejor. Discutir no siempre es inútil.

REFERENCIAS

Badger E and Quealy K (2019). These 526 voters represent all of America. And they spent a weekend together. Recuperado en junio 6, 2022, de https://www.nytimes.com/interactive/2019/10/02/upshot/these-526-voters-represent-america.html.

Haidt J (2019). *La mente de los justos. Por qué la política y la religión dividen a la gente sensata*. Barcelona: Deusto.

Hume D (2005). *Tratado de la naturaleza humana*. Madrid: Tecnos.

More in Common. (n.d.). *The perception gap*. Recuperado de https://perceptiongap.us/.

Strickler J (2012, January 28). *Couples who argue together stay together*. Star Tribune. Recuperado de https://www.startribune.com/couples-who-argue-together-stay-together/138166289/?refresh=true.

José María Llovet Abascal
Instituto de Humanidades
Universidad Panamericana
jllovet@up.edu.mx

www.elementos.buap.mx

La memoria nostálgica en *El amor en los tiempos del cólera*

Noé **Blancas Blancas**

Nostalgia: neuralgia de los recuerdos.

Ramón Gómez de la Serna (1990: 60)

El narrador de *El amor en los tiempos del cólera* (1985) afirma que "la memoria del corazón elimina los malos recuerdos y magnifica los buenos" (García Márquez, 1981: 119).[1] Y el epígrafe de *Vivir para contarla*: "La vida no es la que uno vivió, sino la que uno recuerda y cómo la recuerda para contarla" (García Márquez, 2002: 7). Federico Campbell –yo también dejo que mi memoria elija–, habla de "La ficción de la memoria": "Más que reproducir, la memoria inventa. Recategoriza. Reclasifica. No repite: reorganiza" (2003: 433).

En ese sentido, Pozuelo Yvancos advierte que en la autobiografía y otros géneros memorísticos lo que aparece es una narración de sí mismo frente a los otros (2006: 32), así, en tanto reconstrucción de alguien que ya no es el que fue en el pasado que se rememora, tal narración tendrá entonces "una virtualidad creativa más que referencial, de *poiesis* antes que de *mimesis*: no es ya un instrumento de reproducción sino de construcción de identidad del yo" (33).

Si la memoria selecciona los recuerdos, la nostalgia los sublima. Según la RAE, nostalgia es la "tristeza melancólica originada por el recuerdo de una dicha perdida".[2]

El griego *nóstos* significa "de regreso", "vuelta a la patria" (Muñoz, 2007: 115); y *algos*: dolor. Este sufrimiento se ilustra en el canto X de *La Odisea*. Ulises les dice a sus compañeros que Circe no les permite ir a casa:

> De seguro pensáis ya volver al hogar y la patria / bien querida, más Circe señala muy otra jornada: / al palacio de Hades mansión de Perséfona horrenda, / a pedirle su oráculo al alma del cadmio Tiresias."
>
> Tal les dije; quebró el corazón en su pecho; sentados / en el suelo exhalaban sollozos sin fin; se arrancaban / de pesar los cabellos, más nada el gemir les servía. (*Ilíada*, X, 561-568; Homero, 2006: 168-169).

Johannes Hofer, en su tesis preliminar de doctorado, "*Dissertatio medica de nostalgia oder Heimweh*" (Disertación médica de nostalgia o añoranza) habría acuñado el término en 1688 para referirse a una enfermedad, próxima a la melancolía, que sufrían los soldados que luchaban en tierra ajena (ver Garrocho, 2019: 676).

El dolor por el regreso a la patria responde a una memoria sublimada que se tiene de ella. Si relacionamos la idea de la memoria selectiva o inexacta con la de un relato nostálgico –y por ende sospechosamente no-*factual*–, tendríamos que la nostalgia termina siendo una ficción del pasado,[3] elaborada por el memorista por la necesidad de sublimar ese pasado.

Marianela Muñoz considera a la nostalgia una reconstrucción del pasado basada tanto en la memoria como en la ficción (Muñoz, 2007: 113). Y esto mismo podemos decir de los géneros relacionados con la memoria: la autobiografía, la confesión, etcétera. José Pozuelo identifica dos corrientes críticas respecto de este tipo de relatos: a) "toda narración de un *yo* es una forma de ficcionalización" (2006: 24); lo cual se conecta con la idea de que toda literatura es autobiográfica; y b) la autobiografía no es ficción, sino que afirma una naturaleza histórica, pragmática –algunas ni siquiera son literatura– (2006: 24).

La oposición es irresoluble en tanto la memoria del autor de carne y hueso es siempre una memoria selectiva; mientras que la literatura remite eventualmente a hechos históricos...

En este trabajo voy a referirme solo al relato literario; concretamente, al relato nostálgico del personaje, relato generalmente analéptico, homodiegético y, eventualmente, metadiegético. Abordaré el asunto en *El amor en los tiempos del cólera*, de Gabriel García Márquez, a partir de dos cuestiones: en tanto relato ficticio sobre una vivencia que se ha percibido como feliz; y en tanto relato proléptico (orientado hacia el futuro), apoyándome en las nociones aportadas por la narratología.

LA FELICIDAD FICCIONARIA

Comencemos por la cuestión de la intencionalidad: ¿hasta qué punto el memorista ficcionaliza voluntariamente? En *El amor en los tiempos del cólera*, las metáforas de que se vale el narrador para describir la memoria nostálgica son bastante clarificadoras. Cuando Fermina Daza adolescente es llevada por la fuerza a un viaje de varios años para que olvide a Florentino Ariza, ella habrá de recordar aquel viaje mejor de lo que fue.

Al construir su relato nostálgico, ella no sabe que está modificando la realidad. La nostalgia le impone un filtro que la obliga a falsificar los hechos, pero inconscientemente:

> Fermina Daza se reconoció, se sintió dueña de sí misma por primera vez, se sintió acompañada y protegida, con los pulmones colmados por un aire de libertad que le devolvió el sosiego y la voluntad de vivir. Aun en sus últimos años había de evocar aquel viaje, cada vez más reciente en la memoria, con la *lucidez perversa de la nostalgia* (García Márquez, 1991: 100; cursivas mías).

Bien visto, es el narrador quien, sutilmente, advierte al lector que Fermina recordará aquel viaje

de manera equívoca: la nostalgia la proveerá de *lucidez*, pero una lucidez que *pervertirá* los hechos mismos. El narrador introduce así su propia perspectiva, desde la cual el viaje no habría sido tan maravilloso como Fermina lo recordará en sus últimos años, a pesar de la lucidez o, más precisamente, debido a que tal lucidez es "perversa".

La disparidad entre la realidad y la memoria aparece también en el recuerdo que el doctor Juvenal Urbino, en París, guarda de su ciudad; él la recuerda hermosa y repite constantemente que "no había otra igual en el mundo":

> Era todavía demasiado joven para saber que la memoria del corazón elimina los malos recuerdos y magnifica los buenos, y que gracias a ese artificio logramos sobrellevar el pasado. Pero cuando volvió a ver desde la baranda del barco el promontorio blanco del barrio colonial, los gallinazos inmóviles sobre los tejados, las ropas de pobres tendidas a secar en los balcones, solo entonces comprendió hasta qué punto había sido una víctima fácil de *las trampas caritativas de la nostalgia* (García Márquez, 1991: 119; cursivas mías).[4]

Aunque aquí parece que el narrador adopta en todo momento la perspectiva del personaje, en realidad, también deja entrever su propia perspectiva. Por otra parte, el recuerdo nostálgico se presenta como una doble analepsis: el doctor Urbino recuerda no "su Caribe en abril" (119) –primera analepsis–, sino cómo lo recordaba en París, "paseando del brazo de una novia casual en un otoño tardío" (118) –segunda analepsis–. Él es consciente, al volver a ver su ciudad, de que sus recuerdos en París falseaban la realidad. Quizá esto es lo que lo hace llorar:

> Todo le pareció más pequeño que cuando se fue, más indigente y lúgubre, y había tantas ratas hambrientas en el muladar de las calles que los caballos del coche trastabillaban asustados. En el largo camino desde el puerto hasta su casa, en el corazón del barrio de Los Virreyes, no encontró nada que le pareciera digno de sus nostalgias. Derrotado, volvió la cabeza para que lo viera su madre, y se soltó a llorar en silencio (120).

La alegría del retorno se esfuma porque la patria que en París le producía nostalgia, ya no existe; y esto, aún más que la imposibilidad del retorno, suprime absolutamente la posibilidad de "volver a estar en casa". Hay, por supuesto, una gran diferencia entre la nostalgia de Fermina Daza y la de Juvenal Urbino.

Ella vive, en casa de su prima Hildebranda, días que *percibe* como felices. El reconocerse, el sentirse dueña de sí, acompañada, protegida, sosegada y con voluntad de vivir, modifica evidentemente su manera de ver las cosas. La vivencia se ha alojado en su memoria de manera distinta a la realidad, desde el momento en que la percibe. Sea que Fermina *decida* guardar en su memoria ese viaje mejor de lo que fue, o sea que lo haga inconscientemente, lo relevante es que la vivencia se percibe de manera distinta.

En el caso del doctor Urbino parece suceder lo contario: al volver a ver su ciudad miserable, él cae en la cuenta de que la hermosura que le atribuía en el recuerdo era producto de "*las trampas caritativas de la nostalgia*": aparentemente, la distancia, y no la vivencia, le había hecho concebir su ciudad –equívocamente– como una ciudad hermosa.

Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que, en París, recuerda fielmente su primigenia percepción. Si lo vemos bien, el doctor Urbino llora no por reconocer la falsedad de su recuerdo, sino porque su ciudad *ahora* no se corresponde con la de su percepción *pretérita*. De no haber regresado, él habría conservado intacto su recuerdo. Por otro lado, Fermina Daza no puede volver a vivir el viaje de su juventud para desengañarse: su nostalgia está asegurada. El doctor Urbino cobra consciencia, al volver a su ciudad, de la falsedad de su memoria, mientras que Fermina, en su vejez, no es consciente nunca de que aquellos días con la prima Hildebranda no fueron tan buenos como ella lo cree. Sin embargo, en ambos casos, la memoria

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

nostálgica es una ficción. Si la nostalgia es el dolor por un goce pasado que se ha perdido, podríamos desprender que el disparador de la nostalgia es la pérdida. Pero, ¿de qué manera reconocemos el goce pasado como tal? Según hemos esbozado aquí, también es necesario atender otro disparador: la percepción misma, es decir, lo que percibimos de la vivencia. Ejemplifico con una declaración de Rulfo sobre la memoria que él guardaría de Jalisco:

> Conservé intacto en la memoria el medio en que vivía. La atmósfera en que se desarrolló mi infancia, el aire, la luz, el color del cielo, el sabor de la tierra [...]. Lo que *la memoria me devuelve son esas sensaciones, no me devuelve hechos* (*apud* Campbell, 2003: 433; cursivas mías).

¿Por qué ciertas sensaciones no se correspondan con los hechos?, ¿qué distorsiona la percepción, ya sea para mejorarla o para empeorarla?

En el caso de Fermina, tal distorsión proviene del hecho de sentirse dueña de sí, acompañada, protegida, sosegada, y con voluntad de vivir; podíamos decir: el sentirse feliz. No percibe esos días como los *vio*, sino como los *sintió*; y los sintió como felicidad. No es que la nostalgia haya pervertido la memoria; sino que la memoria remite a una percepción pervertida en su origen. La nostalgia remite, entonces, no a la vivencia, sino a la felicidad en medio de la cual ocurrió la vivencia –también podría darse el caso de que se trate de la felicidad producida por la vivencia. La nostalgia se ha instalado no en el momento de la añoranza, sino en el momento mismo de la vivencia. Así, la de ella es una nostalgia por la felicidad. Esto queda claro cuando, recién casada, se enfrenta a sus "adversarios", decidida a ayudarlos para que la conozcan mejor:

> Nadie fue distinto de como ella quiso que fuera, tal como le ocurría con las ciudades, que no le parecían mejores ni peores, sino como ella las hizo en su corazón. A París, a pesar de su

> lluvia perpetua, de sus tendederos sórdidos y la grosería homérica de sus cocheros, había de recordarla siempre como la ciudad más hermosa del mundo, no porque en realidad lo fuera o no lo fuera, sino porque se quedó vinculada a la nostalgia de sus años más felices (García Márquez, 1991: 231; cursivas mías).

Fermina ha percibido París como la ciudad más hermosa, porque "la hizo en su corazón", porque en ella fue feliz. Su recuerdo es una ficción; pero solo porque es un recuerdo nostálgico.[5]

Por otro lado, en ambos casos, el relato nostálgico cumple una función clara: permite la construcción de una nueva felicidad presente: Fermina podrá olvidar a Florentino Ariza y aceptar al doctor Urbino. Este trabajará arduamente para dar a su ciudad la belleza que él le atribuía en su recuerdo.

Esto podemos observarlo también en este otro ejemplo. Insatisfecha con su matrimonio, dadas las imposiciones de la suegra y la actitud de un marido "paralizado de terror ante la potestad de la madre"; convertido en "un débil sin redención: un pobre diablo envalentonado por el peso social de sus apellidos" (226), Fermina Daza se siente infeliz. Entonces siente nostalgia de otro viaje, el de su luna de miel, y tal recuerdo le permite reconstruir, aunque instantáneamente, la felicidad perdida:

> De vez en cuando, al regreso de una fiesta loca, la nostalgia agazapada detrás de la puerta los tumbaba de un zarpazo, y entonces ocurría una explosión maravillosa en la que todo era otra vez como antes, y por cinco minutos volvían a ser los amantes desbraguetados de la luna de miel (García Márquez, 1991: 229; cursivas mías).

© Emilio Salceda. *Xinacates*. San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

2. EL RELATO PROLÉPTICO

El relato nostálgico está, evidentemente, orientado al pasado, en tanto constituye una remembranza, una analepsis, si consideramos su condición de discurso. Sin embargo, también está necesariamente orientado al futuro, en tanto la vivencia feliz deja su impronta en la memoria, y esta no ha de actualizarse –no existirá como tal– sino en un relato nostálgico que habrá de configurarse en el futuro –uno probablemente no-feliz o, en todo caso, desprovisto de la felicidad de la vivencia actual–: el memorista nostálgico, aun sin proponérselo, *ha sabido*, en el momento de vivenciar la felicidad, que habrá de recordarla no como un hecho sino como una sensación. El que *percibe* presupone al memorista futuro.

Esto ocurre también en el famoso *íncipit* de *Cien años de soledad*, que remite, simultáneamente, al pasado ("el coronel Aureliano Buendía había de recordar *aquella tarde remota*", García Márquez, 2007: 9), y al futuro ("Muchos años después", 9).

Vale traer a cuento esta fórmula porque es la misma con la que se introduce la memoria de Fermina: "en sus últimos años había de evocar aquel viaje [...] con la *lucidez perversa de la nostalgia*" (García Márquez, 1991: 100; cursivas mías).

De tal manera, la temporalidad queda subvertida: el relato nostálgico constituye una prolepsis, más que una analepsis. Si bien comienza a formularse en la vivencia de la felicidad, se consuma solo en el futuro, en una especie de oráculo no trágico sino benévolo: "La verdadera nostalgia, la más honda, no tiene que ver con el pasado, sino con el futuro", dice Luis García Montero.

El recurso aparece constantemente en *El amor en los tiempos del cólera*: Fermina "había de evocar aquel viaje"; a la ciudad de París "había de recordarla". Este recurso, típico de García Márquez, permite confirmar que la ruptura entre la realidad y la memoria sería producida, no por el paso de los años, sino por la percepción de la vivencia en el momento en que ocurre. Fermina recordará en su vejez ese viaje no como fue sino como lo percibió; y los percibió con la certeza de que más tarde habrá de añorarlo.

El relato nostálgico orientado al futuro se puede relacionar con lo que Juan Sebastián Muñoz define como nostalgia "anticipada": "a través de la imaginación nos trasportamos a un momento del futuro en que aquello que es objeto de la nostalgia [...] ya no está en nuestra posesión o alcance [...], la nostalgia es un deseo de retorno al momento actual" (Muñoz, 2013: 53); si la nostalgia por el pasado es traída por la memoria, la nostalgia *del futuro* es traída por la imaginación, cuando la pérdida es augurable (Muñoz, 2013: 54).

Si, como afirma Mircea Eliade, la nostalgia no puede ser sino respecto del Paraíso (Eliade, 1961: 29), y si sobreviene por un "descontento con el presente" (Muñoz, 2007: 113; ver Cabrera, 2013: 18), podríamos redefinirla entonces como un "anhelo del retorno" (Muñoz, 2013: 14). Sin embargo, imposibilitada para volver al Paraíso de la casa de Hildebranda, Fermina Daza encuentra en su nostalgia los fundamentos para un nuevo futuro.

Por una parte, al volver de su viaje maravilloso, el recuerdo de un Florentino superior, la obliga a romper con él debido a su aspecto lastimoso:

> Ella volvió la cabeza y vio a dos palmos de sus ojos los otros ojos glaciales, el rostro lívido, los labios petrificados del miedo, pero [...] no sintió la conmoción del amor sino el abismo del desencanto. En un instante se le reveló completa la magnitud de su propio engaño, y se preguntó aterrada cómo había podido incubar durante tanto tiempo y con tanta sevicia semejante quimera en el corazón. Apenas alcanzó a pensar: "¡Dios mío, pobre hombre!". Florentino Ariza sonrió, trató de decir algo, trató de seguirla, pero ella lo borró de su vida con un gesto de la mano. –No, por favor –le dijo–. Olvídelo (García Márquez, 1991: 116).

© Emilio Salceda. *Xinacates*.
San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

Por otro lado, tras la muerte de su esposo, sin recuerdos nostálgicos del antiguo novio adolescente, Florentino Ariza no despierta en ella ninguna añoranza. Hasta que lo asocia con el viaje:

> Cuando ya lo creía borrado por completo de la memoria, reapareció por donde menos lo esperaba convertido en un fantasma de sus nostalgias. Fueron las primeras auras de la vejez [...]. Mientras que los recuerdos nuevos se confundían en la memoria a los pocos días, los del viaje legendario por la provincia de la prima Hildebranda se iban volviendo tan vívidos que parecían de ayer, con la nitidez perversa de la nostalgia (García Márquez, 1991: 244; cursivas mías).

La expresión "fantasma de sus nostalgias" es inquietante por cuanto Florentino aparecerá como un personaje de ese relato nostálgico del antiguo viaje. Y así, se revela también el doble filo de la nostalgia: el recuerdo de un noviazgo feliz, de un

joven extraordinario, se estrella contra la imagen del "pobre hombre" que se encuentra en el mercado; y esto lleva a Fermina Daza a romper con él. Pero, al final, luego de haberlo "borrado" de su vida, la ausencia de esa memoria nostálgica le ha de permitir el feliz amorío senil. En este sentido, no es nada casual que el amor otoñal elimine la *nóstos,* la necesidad de volver a casa, pues los ancianos resuelven al final continuar su viaje en buque por el río Magdalena durante "toda la vida".

Con esta decisión, en realidad terminan fundando su nueva patria, paradójicamente, en un viaje eterno, reafirmando la idea de filosofía que ha expresado Novalis: "la filosofía es propiamente nostalgia, un impulso a estar en todas partes en casa" (*apud* Pineda, 2018), y aludiendo sutilmente a los ríos de Jorge Manrique.

En este punto tal vez sea pertinente recordar la nostalgia del propio García Márquez por el río Magdalena, bastante devastado para el momento en que la novela fue escrita:

> El 19 de enero de 1961 [...] lo recuerdo como un día ingrato, por un amigo que me llamó por teléfono a México para contarme que el vapor David Arango se había incendiado y convertido en cenizas en el puerto de Magangué. Colgué con la conciencia horrible de que aquel día se acababa mi juventud, y de que lo poco que ya nos quedaba de nuestro río de nostalgias se había ido al carajo (García Márquez, 2002: 216; cursivas mías).

Frente a la noción de nostalgia como enfermedad, dada su trágica convicción de que no es posible *volver* a ser feliz; y a su negación edípica de *volver a ver* el mundo, en *El amor en los tiempos del cólera* el relato nostálgico suscita la fundación de una *nueva patria*, precisamente en la negación de volver a tierra.

El dolor por volver al Paraíso (obsérvese la capacidad de futuro del verbo *volver*: *volver a ser*) nos recuerda precisamente que la única aspiración

© Emilio Salceda. *Xinacates*.
San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

legítima del relato, como dice Aristóteles respecto de la Retórica deliberativa, es la felicidad. Y nos recuerda también que, en términos de Heidegger: el no-estar-en-casa es "el fenómeno más originario", "la forma de ser del hombre" (*apud* Pineda, 2018).

CONCLUSIONES

Quisiera terminar con una refutación anunciada. Todo lo dicho sobre la nostalgia podría llevarnos equívocamente a una falacia: la felicidad es una ficción. Pero no es esta una conclusión necesaria. Porque la ficción ocurre en el momento en que se produce el "relato nostálgico", y no en el momento en que se percibe la vivencia.

Si bien la felicidad pervierte la impronta y el recuerdo se vuelve falso (no olvidemos que, a fin de cuentas, eso significa *ficción*), la felicidad es genuina –sabemos que es incluso un fenómeno químico. Y en ese sentido, el relato o la impronta –al fin huérfana– remite a un hecho *real*: al hecho de haber sido feliz (quizá no haya una realidad más real que ésta).

Podemos afirmar, entonces, que el relato nostálgico despierta esa capacidad que desde la Antigua Grecia –con su catarsis– y hasta la era freudiana –con el psicoanálisis y la terapia (si lo vemos bien: es una capacidad fundada en relatos)–, nos permite el *ejercicio* de la felicidad.

Sin la clausura nostálgica por un pasado mejor, Fermina puede construir una nueva memoria, un nuevo amor, un nuevo hogar –en el buque peregrino– a pesar del cólera; hoy, a casi dos años de aquel primero de abril, diríamos: a pesar de la pandemia.

N O T A S

[1] La frase aparece ligeramente alterada en *Vivir para contarla*: "La nostalgia, como siempre, había borrado los malos recuerdos y magnificado los buenos" (García Márquez, 2002: 26).

[2] Por su parte, Marianela Muñoz afirma: "El concepto de nostalgia, al remitirse al pasado personal y por ende a los primeros años de vida de la persona, supone una apreciación subjetiva de aquella región lejana 'donde memoria e imaginación no permiten que se les disocie'" (Muñoz, 2007:116).

[3] Borges dice algo semejante de los sueños: "pensamos que el sueño es una obra de ficción (yo creo que lo es), y posiblemente sigamos fabulando en el momento de despertarnos y cuando, después, los contamos (1996: 53)". A mi parecer, la nostalgia, en tanto puede considerarse también una especie de ensoñación, es también otro mecanismo de la ficción; pero lo más interesante es que Borges considera ficción no solo el sueño, sino el relato que después se hace de él.

[4] La memoria como "trampa" aparece varias veces en *Cien años de soledad*.

[5] En *Cien años de soledad*, la nostalgia aparece constantemente como una trampa de la memoria, en la que repetidamente caen los personajes: el término aparece en 35 ocasiones: 31 como sustantivo, 3 como adjetivo y una como sustantivo abstracto: "nostalgización" (ver García Márquez, 2007).

R E F E R E N C I A S

Borges JL (1996). *Siete noches*. México: FCE.

Eliade M (1961). *Mitos, sueños y misterios. Revelaciones sobre un mundo simbólico y trascendente*. Buenos Aires: Compañía Federal Fabril Editora.

Heidegger M, *Grundbegriffe der Metaphysik* (1929-1930) *apud* Pineda César Alberto (2018). "Nostalgia y melancolía en Heidegger: la cuestión del "Enteignis". *Reflexiones marginales*, 58, diciembre.

Homero (2006). *Odisea*, trad. de J.M. Pabón. Madrid: Gredos.

García Márquez G (2002). *Vivir para contarla*. México: Diana.

García Márquez G (1991 [1985]). *El amor en los tiempos del cólera*. México: Diana.

García Márquez G (2007). *Cien años de soledad*. Colombia: RAE/Asociación de Academias de la Lengua Española/Alfaguara.

Garrocho D (2019). "Nostalgia. Sobre el origen y el nombre de una patología sentimental". *Isegoría. Revista de Filosofía moral y Política*, 61, julio-diciembre, 673-688. https://doi.org/10.3989/isegoria.2019.061.15.

Gómez de la Serna R (1990). *Greguerías*. Ed. de Rodolfo Cardona. México: REI, p. 60.

Muñoz Ocampo JS (2013). "La nostalgia como deseo de retorno: una comprensión desde la psicología de orientación psicoanalítica y la literatura". Tesis de licenciatura. Universidad de San Buenaventura Seccional Medellín. Medellín.

Muñoz M (2007). "Nostalgia, guerra civil y franquismo en la narrativa española de finales del siglo XX". *Filología lingüística, XXXIII* (2).

Pineda CA (2018). "Nostalgia y melancolía en Heidegger: la cuestión del "Enteignis". *Reflexiones marginales*, 58, diciembre.

Noé Blancas Blancas
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP)
noe.blancas@upaep.mx

www.elementos.buap.mx

El paisaje sonoro:
la musa en el arte... ¿y en la ciencia?

José Gerardo **Ham Dueñas**

El arte involucra un conjunto de creaciones humanas que permiten expresar las percepciones, emociones y sensaciones de todo lo que nos rodea o que proviene, alternativamente, desde el imaginario de cada artista. La naturaleza ha ofrecido una fuente de inspiración para los artistas plásticos, lingüísticos y sonoros, mostrándonos, de manera indirecta, un valor intrínseco de ella. Es decir, los estados psico-anímicos, que son transmitidos en las obras de arte, podrían generar en el público receptor una carga emocional y, además, la apreciación de los elementos artísticos que provienen de la misma naturaleza como su centro de origen. Un ejemplo lo podemos apreciar en la música, donde dicha expresión humana ha sido un excelente intermediario entre la naturaleza y el oyente.

La música ha sido influenciada por el acontecer cotidiano, representado a partir de distintos personajes, ya sean seres o entes citadinos o la naturaleza misma y sus protagonistas. Ejemplos existen muchos: desde “El jilguero” o “La primavera”, siendo parte, esta última obra, de las “Las cuatro estaciones” de Antonio Vivaldi, donde hace referencia a las aves y el acaparamiento sonoro que estas realizan en el paisaje. También diferentes compositores como Messiaen, Mozart, Janequin, Tchaikovski, entre otros, ofrecieron al mundo diversas obras alusivas al ambiente sonoro que fue percibido por este grupo de artistas (Gerhard and Varela, 2011). Un ejemplo claro es

el cuento sinfónico "Pedro y el lobo", compuesto por Serguéi Prokófiev, el cual recrea los sonidos de animales mediante instrumentos musicales: el lobo representado por el sonido del corno, el gato por el clarinete y el pájaro por la flauta transversa. Además, podemos encontrar artistas de música contemporánea que, retomando experiencias auditivas y visuales, plasman en sus obras sonidos ligados a animales y sus sonidos, como es el caso de Duke Elington con "Bluebird of Delhi (Mynah)", la célebre canción de The Beatles "Blackbird" (un gran dueto entre Paul McCartney y el Tordo Negro Europeo), una reciente pieza de Radiohead llamada "Give up the ghost" con una atractiva introducción; además, sin dejar a un lado la tradicional canción mexicana de Tomás Méndez: "Cucurrucucú paloma".

En la actualidad, se mantiene este ímpetu por recrear o enriquecer estos ambientes acústicos que nos rodean, utilizando nuevas tecnologías musicales. Un ejemplo, de los muchos que existen en estos días, es "Deep forest", dúo de música electrónica que hace referencia a las sonoridades del mundo que han recolectado y plasmado en su música. Hay otros casos como John Luther Adams, compositor de música contemporánea, y ganador de los premios Pulitzer de música y Grammy, que plasma en la música algunas alusiones al paisaje sonoro mediante composiciones para orquesta sinfónica; exponiendo en ellas, además, situaciones adversas que presentan los ecosistemas por acciones humanas. Un último ejemplo sobre músicos ligados al paisaje sonoro es Bernie Krauze, gran entusiasta en este tema durante toda su carrera, quien desarrolló varios proyectos musicales ligados a la naturaleza y sus sonidos. Además, intervino como pionero en el estudio de la Ecología del Paisaje Sonoro.

PAISAJE SONORO EN LA CIENCIA: ¿LA MUSA DEL CIENTÍFICO?

Tal parece que la gente creativa, como los artistas, no son los únicos que toman inspiración del ambiente que les rodea para crear sus obras o trabajos. Existe un grupo de personas ligadas al área científica que ha visto con interés los fenómenos acústicos que acontecen en el paisaje; interactuando e influyendo en la permanencia o transformación de su estructura sonora en su espacio y tiempo.

La comunicación animal usa diferentes vías para transmitir un mensaje, desde el olfato como receptor de sustancias químicas, el cual detecta un estado fisiológico temporal (por ejemplo, feromonas para la atracción de pareja en mamíferos), hasta un impresionante despliegue de movimientos y ornamentaciones visualmente atractivas o intimidantes, las cuales traen consigo una carga de mensajes; es decir, pueden expresar la intención de dominancia de un individuo hacia otro para la defensa de algún territorio, o bien, mostrarse como potencial amenaza hacia algún depredador. Por ejemplo, el modo de persuasión de la víbora de cascabel (*Crotalus sp.*), cuando advierte de manera sonora al intruso sobre su presencia mediante la sacudida del "cascabel"; incluso se ha confirmado que la aproximación mayor del intruso hacia el reptil puede acelerar el "cascabeleo", como una especie de "sensor de distancia" (Forsthofer *et al.*, 2021). Además, no podemos dejar a un lado la creación de mensajes visuales y sonoros para la persuasión por parte de machos hacia hembras, que tiene como fin, la consumación del apareamiento en ciertos grupos animales.

Como se expuso antes, actualmente el paisaje sonoro ha intrigado a muchas personas involucradas en el ámbito científico; la razón radica en esclarecer los cambios en la estructura acústica de un área, debido a la interacción con las actividades humanas. La Ecología del Paisaje Sonoro es un área influenciada por la misma Ecología del Paisaje, área que estudia patrones y procesos ecológicos a través de un espacio geográfico heterogéneo y que considera distintas escalas espaciales y temporales (Turner, 2001). El estudio del sonido dentro de un paisaje se integra junto con sus patrones espectro-temporales inherentes, en donde además se consideran procesos biológicos y antropogénicos;

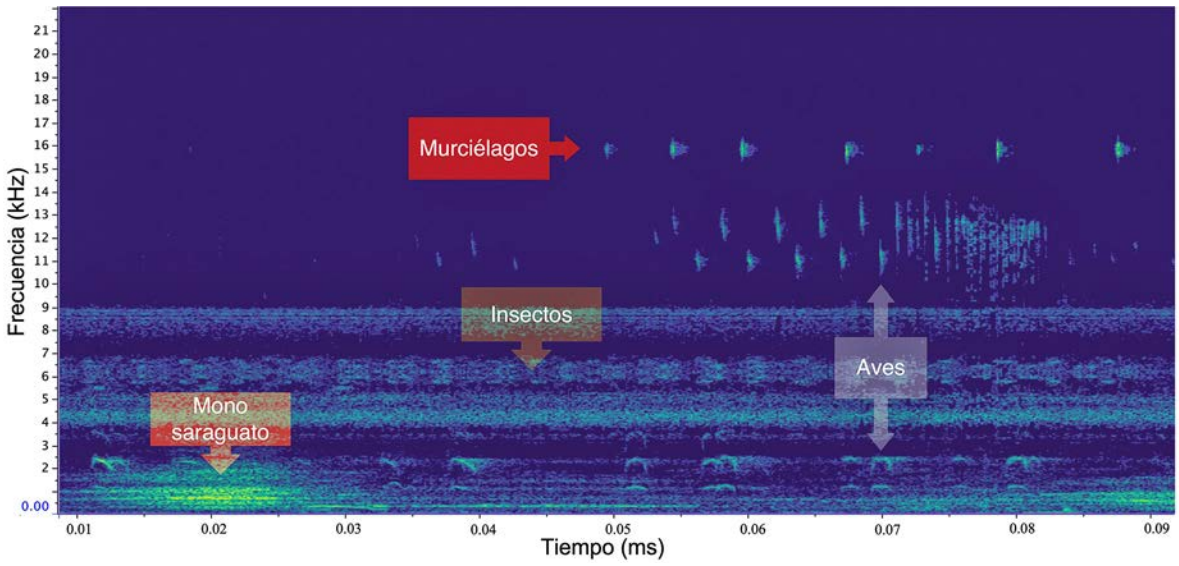


Figura 1. Espectrograma (representación tridimensional que muestra la energía de una frecuencia en un tiempo determinado) de paisaje sonoro de una selva al sur de México. Cada componente de la biofonía (insectos, aves, primates, etc.) se encuentra en un rango de frecuencias especifico y con traslape mínimo entre un componente y otro, con el propósito de lograr una emisión de sonidos de manera más eficiente (hipótesis del nicho acústico). El eje horizontal muestra el tiempo (milisegundos) y el vertical representa la frecuencia (kilohertz).

todo esto dentro de un contexto geográfico determinado. El objetivo es observar qué patrones y procesos acústicos son alterados por las actividades humanas en distintas escalas, donde existen interacciones entre la fuente biológica (biofonía), la geofísica (geofonía) y la antropogénica (antropofonía) (Pijanowski, *et al*. 2011).

El espectro sonoro, o audiofrecuencias, están delimitadas comúnmente de acuerdo con el campo tonal que los seres humanos somos capaces de percibir por medio de la audición, que va de un intervalo de 20 Hz a 20 kHz (20,000 Hz), incluyendo además sonidos no audibles como el infrasonido (menor a 20 Hz) y el ultrasonido (mayor a 20 kHz). En este intervalo de frecuencias, puede existir un sin número de sonidos provenientes de la biofonía (vocalizaciones de aves, insectos, anfibios, etc.), geofonía (lluvia, corriente de un río, truenos, movimiento del glaciar, etc.) y antropofonía (vehículos motorizados, industria, etc.) que interactúan y se mezclan.

En 1987, Bernie Krauze propuso la "Hipótesis del nicho acústico", la cual plantea que debido a la competencia entre varias especies animales por compartir el mismo canal o espectro acústico, llega a existir un desplazamiento o modificación de este limitado y saturado espacio acústico (superposición de frecuencias) hacia otro (Krause, 1987); es decir, se efectúa un ajuste por alguna especie en sus vocalizaciones para explotar otro rango de frecuencias (o canal) y así lograr enviar su mensaje de forma más eficiente. Cada nicho acústico es particular para cada especie y no nada más interviene a nivel espacial, sino también temporal. Una forma de hacer más claro lo anterior, es ofreciendo la analogía de las frecuencias radiofónicas (estaciones de radio), recibidas en nuestros reproductores de audio. Estos canales o frecuencias mantienen un orden dentro de un espectro radiofónico (88.1FM, 107.1FM, 1110AM, etc.) para cada radiodifusora, teniendo como propósito la transmisión de programas (mensajes). La anterior analogía explica la organización acústica en la naturaleza, donde pueden ser establecidos distintos nichos acústicos para cada especie que tenga la capacidad de emitir algún sonido.

Para comprender de mejor manera acerca de los nichos acústicos, en la figura 1 se muestra un espectrograma, una representación visual de las variaciones de la frecuencia (eje vertical) y la intensidad del sonido con respecto al tiempo (eje horizontal), a partir de sonidos generados en una selva

del sur de México. Como se puede apreciar, cada componente de la biofonía (insectos, aves, primates, etc.) se encuentra en un rango de frecuencias especifico y con traslape mínimo entre un componente y otro, con el propósito de lograr una emisión de sonidos más eficiente (Figura 1).

Investigadores de la Universidad Tecnológica de Queensland realizaron en el área natural de Musiamunat, en Papúa Nueva Guinea registros con grabadoras capaces de almacenar una gran cantidad de material de audio para su posterior procesamiento y análisis. Utilizaron la información acústica para estudiar el efecto del cambio de uso del suelo y cómo esto afecta la diversidad biológica del área. Uno de los aspectos interesantes que resaltó el estudio es sobre la diversidad de frecuencias que abarca la biofonía y la geofonía, y cómo se hallan situados en ciertos nichos del espectro sonoro (canal sonoro) presentes en la selva. También observaron que la diversidad de biofonías puede cambiar espacial y temporalmente debido a la presencia de actividades humanas. La comparación de grabaciones en áreas conservadas con áreas que tienen una pérdida de cobertura vegetal muestra una diferencia en la actividad y diversidad de sonidos presentes, siendo mayores los niveles de estas variables en áreas no deforestadas. Bernie Krause muestra un buen ejemplo con la grabación de un área con presencia de un bosque maduro (Audio 1) y la misma área grabada siete años después con cierto grado de deforestación, en el cual se percibe una notable diferencia (Audio 2), donde la cantidad de sonidos desciende estrepitosamente después de esa modificación de uso de suelo (Krause, 2015).

La intervención de la antropofonía en el ambiente se ha observado también en distintas especies de aves, las cuales han modificado sus vocalizaciones en áreas urbanas debido al sonido generado por las actividades humanas (vehículos, industria, etc.); es decir, ciertas aves usan frecuencias más altas en comparación con aves que habitan en áreas no urbanas a causa de la antropofonía. Esto implica un costo energético que podría reflejarse en la salud del individuo y en la disminución del número de aves de determinada especie en el área urbana (Slabbekoorn and Ripmeester, 2008). Por otro lado, la introducción de especies invasoras puede influir en la superposición de frecuencias a partir de una vocalización que no estuvo presente con anterioridad en un área, originando el enmascaramiento o traslape de esta vocalización con la de alguna especie nativa e interrumpiendo el envío del mensaje de esta última (Pijanowski *et al.*, 2011). Por último, la contaminación química también ha tenido una influencia en las vocalizaciones de vertebrados. Lo anterior se ha observado mediante un estudio preliminar, donde detectamos que el gorrión garganta negra (*Amphispiza bilineata*) presentaba menor versatilidad y diversidad de cantos en áreas con mayor actividad minera en comparación con áreas más conservadas y con ausencia de minería; lo anterior podría tener repercusiones negativas para la especie. El efecto de la contaminación química ha sido objeto de estudio en las vocalizaciones de otras aves y anfibios, mostrando también cambios en la emisión acústica generadas por cada especie de vertebrado.

PAISAJE SONORO + CIENCIA + MÚSICA = INSPIRACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN

La ciencia sigue a marchas forzadas en el esclarecimiento de varios fenómenos de la naturaleza, a partir de la observación y experimentación; es decir, cómo se desarrollan estos fenómenos, cuáles son sus orígenes y cómo se entretejen los mecanismos que están involucrados para encontrar su rol protagónico o antagónico en el ambiente. El papel del científico sigue siendo parte fundamental de la sociedad, para dar los primeros pasos en la innovación de estrategias o tecnologías, con miras a lograr un bien común, tanto del ser humano como del medio ambiente. El estudiar los componentes acústicos de un paisaje motiva a conocer cómo es que los mensajes pueden no únicamente alcanzar su cometido dentro de la misma especie, sino además nos da una idea de la presencia, modificación o ausencia de ciertas señales como indicadores de que algo inusual o desfavorable sucede en el ambiente.

© **Emilio Salceda**. *Xinacates*.
San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

John Luther Adams mantiene una clara separación del papel de su música con respecto al "activismo". John escribe que el objetivo de su obra es "...inspirar a la gente para escuchar más profundamente a este milagroso mundo en el que habitamos... y como compositor, ayudar a navegar en esta peligrosa era de nuestra propia creación" (Adams, 2015), refiriéndose al Antropoceno (época geológica más reciente que comprende el cambio de los sistemas naturales por la actividad humana). Es inevitable no considerar el potencial que tiene la música para trasmitir un mensaje y recordar que siguen presentes, aun cuando no estamos tan en contacto con ellos (Cohen, 2015).

El sentido que se le puede dar a la naturaleza por medio del arte y del quehacer científico es de una manera distinta, aun cuando ambos se retroalimentan de las experiencias adquiridas. La ciencia ha demostrado su capacidad para entender, de forma objetiva, los fenómenos de la naturaleza y su dominio para adquirir conocimiento innovador que beneficie a la sociedad a partir de experiencias previas. El arte, en general, facilita la narrativa y la reflexión para transmitir emociones e ideas que la ciencia a veces no consigue y que podría ser una manera innovadora para lograr contribuir a un avance en el pensamiento colectivo constructivo, concentrándose en distintas problemáticas medioambientales que acontecen alrededor del mundo.

REFERENCIAS

Adams JL (2015). *Making Music in the Anthropocene: How should artists engage with times of crisis?*, *Slate*. Recuperado de: https://slate.com/culture/2015/02/john-luther-adams-grammy-winner-for-become-ocean-discusses-politics-and-his-composition-process.html.

Cohen NS (2015). *Why landscape music is more important than ever?*, *Newmusicbox*. Recuperado de: https://nmbx.newmusicusa.org/why-landscape-music-is-more-important-than-ever/#:~:text=-Similar to music inspired by,role of landscape in culture.

Forsthofer M *et al* (2021). Frequency modulation of rattlesnake acoustic display affects acoustic distance perception in humans. *Current biology* 31(19):4367-4372.

Gerhard A and Varela C (2011). *Las aves: introducción a la música de concierto*. México, D.F.: Océano Travesía.

Krause B (1987). Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance, *Whole Earth*, p. 142p.

Krause BL (2015). *Voices of the Wild: Animal Songs, Human Din, and the Call to Save Natural Soundscapes*. Yale University Press.

Pijanowski BC *et al.* (2011). What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science, *Landscape Ecology*, 26(9):1213–1232.

Slabbekoorn H and Ripmeester EAP (2008). Birdsong and anthropogenic noise: Implications and applications for conservation. *Molecular Ecology* 17(1):72-83.

Turner MG (2001). *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*.

Zavala-Olalde JC (2013). La evolución del lenguaje humano. *Ciencias* 60-66.

AUDIO

*Tomado del libro *Voices of the Wild: Animal Songs, Human Din, and the Call to Save Natural Soundscapes*.

*Audio 1: Osa Península, Costa Rica, 1989, before clear cutting: https://soundcloud.com/yup-digital/krause-sound-05?in=yup-digital/sets/voices-of-the-wild-soundscape.

*Audio 2: Osa Península, Costa Rica, 1996, after clear cutting: https://soundcloud.com/yup-digital/krause-sound-06?in=yup-digital/sets/voices-of-the-wild-soundscape.

José Gerardo Ham Dueñas
Departamento de Zoología de Vertebrados
Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Autónoma de Nuevo León
Miembro del Grupo de Divulgación Científica "Prismatic"
jose.g.ham@gmail.com
jhamd@uanl.edu.mx

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

www.elementos.buap.mx

Los xinacates:
fotografías de Emilio Salceda

© **Emilio Salceda**. *Xinacates*.
San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

La fiesta de Xinacates de San Nicolás de los Ranchos, en el estado de Puebla, se celebra los días previos al miércoles de ceniza que da comienzo a la Cuaresma, en el marco de un carnaval que llaman Yucatlán, que tiene como escenario histórico la lucha entre el ejército francés y el mexicano en 1862; es decir, se trata de una festividad laica que parte de un acontecimiento bélico que, como suele ocurrir, ha sido insertado en el marco religioso de la Cuaresma.

Sin embargo, las imágenes no nos remiten a los cerros históricos de la guerra, a los uniformes azules de los franceses ni a los sombreros zacapoaxtlas de los mexicanos; lo que el fotógrafo capta son los cuerpos juveniles de hombres desnudos, ataviados apenas con un calzón deportivo o pantalones recortados, que deciden cubrirse con colores monocromos radicales que probablemente terminarán definiendo su identidad escénica.

¿Qué son los Xinacates? Fuera de una reina parapetada en el camión que encabeza la inicial y desordenada procesión, única mujer (que no vemos en las fotos) en todo el panorama, y que reitera el acontecimiento recreado en otras festividades de la región relativo al robo de la hija del corregidor español por un indígena llamado Agustín Lorenzo, que el pueblo festeja con bailes imprecisos.

© Emilio Salceda. *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

Lo que sigue en la secuencia de fotografías es una sucesión de jóvenes intensamente pintados de negro o de plateado que desfilan con rostros maquillados o ataviados con máscaras fantasmagóricas o de algún luchador indeterminado de la lucha libre mexicana, con rasgos calaverosos de noviembre, penachos aztecas, máscaras de látex, diablos, antifaces, pelucas, anteojos, narices de payaso o la falsa y siniestra sonrisa del hollywoodense Joker. En algún momento, los pasos sin fidelidad dancística avanzan al son de contemporáneos ritmos más gruperos que mexicanistas, con personajes que tampoco titubean en refrendar su filiación con una bandera tricolor, maquillada también con manchas accidentales. El baile, sin embargo, sí aparece en las imágenes de los cuerpos ennegrecidos o plateados o rojos de muchachos que caminan en completo desorden: ¿cuáles son los franceses?, ¿cuáles los mexicanos?

Los pasos de los tenis, botines, choclos y uno que otro huarache sobre el cemento húmedo no nos lo aclaran. Distingue en cambio la identificación local de esta fiesta popular (con un hecho que no coincide ni con el mes de aquella batalla ni con el ritual de la temporada cuaresmal) del colorido festejo de moros y cristianos con el que sus vecinos del poblado de Xalitzintla, de quienes los separa apenas una calle, hacen su celebración patronal en el mes de julio. Esta singular fiesta de Xinacates es de aquí, de edad indefinida, como también indefinidas son la ritualidad y la parafernalia que la lente de Emilio Salceda (Puebla, 1963), fisiólogo de la BUAP, ha capturado con la distintiva fidelidad de su fotografía.

Leopoldo Noyola

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

www.elementos.buap.mx

¿Cómo se origina el color en las plumas de las aves?

Mérit **Barrera-Mendoza**
Juan José **Pérez-Rivero**
José A. **Herrera-Barragán**

La visión aviar es de las más "beneficiadas" del reino animal con cuatro tipos de células receptoras en los ojos, que les permite distinguir el espectro verde, rojo, azul y el ultravioleta. (Kishnan *et al*., 2020; Pearn *et al*., 2001). Tienen comparativamente una mayor proporción del cerebro que procesa la información visual y poseen un nervio óptico, con mayor número de neuronas (Olkowicz *et al*., 2016) y m**ás** células foto receptoras en la retina, que les otorga mayor nitidez visual (Cuthill *et al*., 2000).

Estas características visuales cumplen funciones asociadas con la edad, camuflaje, adaptación ambiental, diferenciación y actividad sexual, y están en gran parte asociadas al color de sus plumas (Stettenheim, 2000). La variedad de colores en las aves se clasifica en dos grupos: basadas en pigmentos y de origen estructural.

COLORACIONES BASADAS EN PIGMENTOS

Melaninas. Producen patrones disruptivos y auxilian al plumaje ante parásitos, proporcionan protección contra la luz y la temperatura. En algunas especies su función ornamental relacionada con la selección sexual como en gorrión común (*Passer domesticus*) que está condicionado por niveles de testosterona.

Figura 1. Coloración por melaninas: Aguililla de Harris (*Parabuteo unicinctus*) con acumulación natural de eumelanina y feomelaninas, dando origen a su color marrón rojizo intenso.

Las melaninas son el pigmento más frecuente en el plumaje de las aves, se han identificado dos tipos. La eumelanina, que produce tonos negros, grises, marrón oscuro y feomelanina, que produce tonos cercanos al marrón rojizo, amarillo y anaranjado; las proporciones de ambas melaninas pueden variar y combinarse como en el plumaje de aguilillas de Harris (Figura 1) (Montaudié, 2014; Rodríguez *et al*., 2017).

Las melaninas son sintetizadas cuando los melanoblastos maduran en los melanocitos. Los melanoblastos situados junto a los queratinocitos (células productoras de queratina) transfieren melanina a la pluma a través de los melanosomas en los folículos. La activación de estas vías es de carácter genético, por lo que pueden ocurrir mutaciones en dicho proceso (Montaudié, 2014) como son las llamadas aberraciones cromáticas.

Figura 2. Periquito (*Melopsithacus undulatus*), con aberración cromática por cruzamiento selectivo intencional.

Aberraciones cromáticas (Asociadas a melanina). Entre las aberraciones cromáticas se encuentra el albinismo (Figura 2), caso en que no se pueden sintetizar melaninas, provocando un plumaje blanco con iris color rojo. En el melanismo ocurre lo contrario, un aumento de melaninas expresando depósitos excesivos de pigmento. En el leucismo existe la capacidad para sintetizar melaninas. El término esquizocroismo se refiere a la ausencia de eumelanina o feomelanina con coloraciones de un solo pigmento (Rodríguez *et al*., 2017).

Los genes Tirosinasa (TYR) y el Gen Receptor 1 de Melanocitos (MC1R) desempeñan un papel importante en la formación de melanina a través de la oxidación de la tirosinasa y en la síntesis de eumelanina, respectivamente. Se ha comprobado que el albinismo ocurre por mecanismos del TYR y que los alelos de MC1R causan un incremento en la síntesis de eumelanina que se heredan como dominantes. Cuando no existen estímulos del gen MC1R, los alelos suelen ser recesivos y emiten señales para desviar la producción hacia feomelanina (Rodríguez *et al*., 2017)

Carotenoides. Son compuestos de carbono con moléculas de hidrogeno y oxígeno; no son sintetizados los vertebrados, su presencia es de carácter exógeno. Las aves metabolizan los carotenoides ingeridos y los transforman en pigmentos como en el cardenal (*Cardinalis cardinalis*). El acceso a los pigmentos en la dieta y el metabolismo contribuyen a la diversidad pigmentaria de las aves (McGraw *et al*., 2001), donde aquellos más eficaces para obtener alimento consiguen un mayor aporte de carotenoides y pueden producir colores intensos, indicadores de buen estado nutricional y capacidad reproductiva (Pérez, 2011).

La luteina o zeaxantina son carotenoides responsables de tonos amarillos y anaranjados y la astaxantina y cantaxantina del color rojo, como en la *Aratinga solstitialis*.

La absorción de los carotenoides ocurre en el intestino delgado, siendo el hígado el encargado

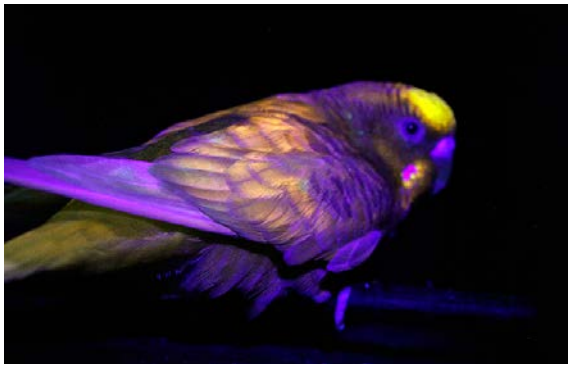


Figura 3. Coloración por psitacofluvinas. A) Loro amazónico (*Amazona ochrocephala*) con plumaje verde logrado a través de la combinación de psitacofulvinas y colores estructurales. B) Periquito australiano (*Melopittacus undulatus*), que evidencia la presencia y fluorescencia originada por las psitacofluvinas expuestas a luz ultravioletas.

de su metabolización, almacenándose en la grasa del cuerpo (McGraw *et al*., 2001).

Porfirinas. Son derivadas de la síntesis de glicina y del catabolismo hepático que forman iones metálicos, llamados metaloporfirinas. En las aves, las metaloporfirinas se encuentran en la cresta de los gallos. Por sus propiedades químicas, son pigmentos susceptibles a la luz incluyendo radiación ultravioleta (Pearn *et al*., 2001). Otras metaloporfirina son la turacina**,** que determina el plumaje rojo de los turacos, y la turacoverdina, que produce el color verde y es exclusiva también de los turacos.

Psitacofulvinas. Las aves psitácidas sintetizan un pigmento llamado psitacofulvina, de origen lipídico similar a los carotenoides; las psitacofulvinas, se combinan con colores estructurales (azul y blanco) originando el verde (Figura 3A). Las psitacofulvinas no están presentes ni en la sangre ni en el hígado de los psitácidos, se deduce que su síntesis tiene lugar directamente en el folículo de la pluma. Las cacatúas solo producen colores tenues (rosados y amarillos).

Las plumas pigmentadas por psitacofulvinas presentan fluorescencia al ser expuestas a luz ultravioleta, a esta característica se le atribuye la selección de pareja, el espectro ultravioleta en la visión y la comunicación de las aves psitácidas; de gran importancia, por ejemplo, en los periquitos australianos (*Melopsittacus undulatus*) que atraen al sexo opuesto con sus propiedades ultravioletas (Figura 3B).

COLORACIONES ESTRUCTURALES

Son producidos por mecanismos físicos como es la difracción de la luz, donde el ángulo de entrada de la luz a través de las estructuras anatómicas de las plumas, compuestas por barras de queratina llamadas bárbulas, producen una ilusión en el color de carácter óptico. Los colores azul y violeta en las plumas son producidos de esta manera (Del Mazo *et al*., 2020).

Por dispersión coherente. Los plumajes estructurales cromáticos o también llamados de "dispersión coherente" (Figura 4A), son producto de la dispersión de la luz que refleja las estructuras de la pluma en una misma longitud de onda, determinando el color percibido en ese momento y dando lugar a colores puros como coloraciones verdes o azul del Jacinto (*Anodorhynchus hyacinthinus*).

Por dispersión no coherente. Los plumajes blancos y grises claro son llamados de "dispersión no coherente" (Figura 4B), ya que la conformación de queratina y aire de las bárbulas generan una luz que no converge en una longitud de onda concreta y el comportamiento de los colores del espectro visible suma todos los haces de luz, producen "coloración" blanca como en los cisnes (*Cygnus olor*) o en el loro gris (*Psittacus erithacus*).

Efecto iridiscente. En los plumajes iridiscentes (Figura 4C), el cambio en el color percibido ocurre

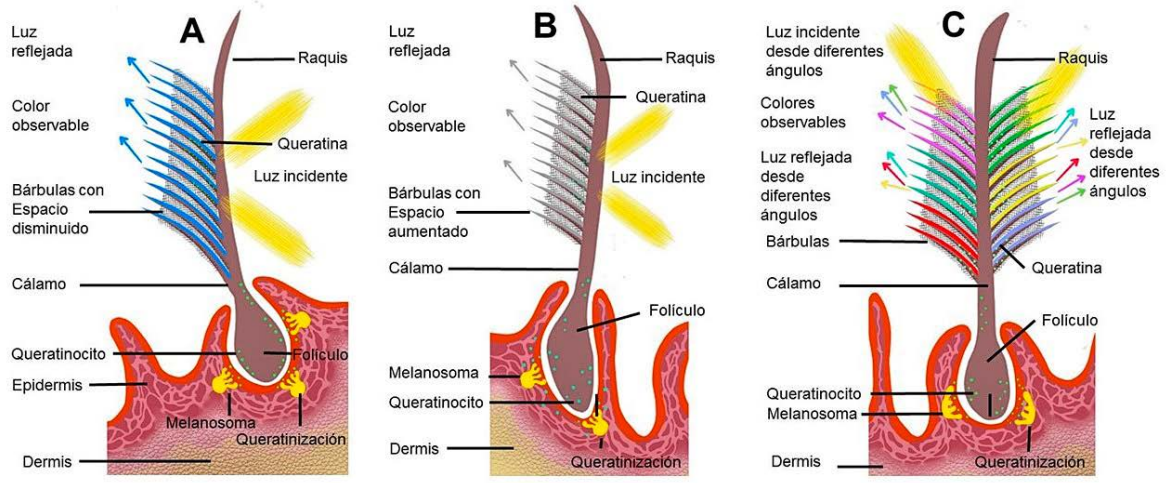


Figura 4. Mecanismos para producir colores en las plumas de las aves. A) Coloración estructural coherente produce colores homogéneos cuando la difracción de la luz produce una sola longitud de onda, con dispersión coherente, que genera el color observable puro (Azul). B) Coloración estructural no coherente origina colores blancos y grises cuando la difracción de la luz produce diversas longitudes de onda que se combinan entre sí y producen una dispersión de luz no coherente. C) Coloración iridiscente se produce cuando la difracción de la luz origina distintas longitudes de onda que, observadas desde distintos ángulos, producen la coloración iridiscente.

a medida que cambia el ángulo de visión con que se observe o se ilumine la pluma.

Es el efecto óptico ocurrido cuando la luz incidente genera el reflejo de la luz de distintos colores según el ángulo de observación y la cantidad de luz aportada, evidente en el plumaje del faisán Impeyan (*Lophophorus impejanus*).

CONCLUSIONES

En las plumas, el origen de su color se atribuye a moléculas intrínsecas y extrínsecas de ave, así como a condiciones estructurales físicas y la combinación de estos.

Asegurar que el origen del color en las plumas proviene de una sola fuente, puede no tener certeza; sin embargo, a nivel poblacional es una de las características que permite diferencias entre una especie y otra.

R E F E R E N C I A S

Cuthill I, Partridge J, Bennett A, Church S, Hart N and Hunt S (2000). Ultraviolet Vision in Birds. *Advances in the Study of Behavior* 159-214.

Del Mazo V, Velasco M y García M (2020). Recomposición de un rayo de luz blanca descompuesto por un prisma. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias.* 17(3):3402.

Kishnan A, Singh A and Tamma K. (2020). Visual signal evolution along complementary color axes in four bird lineages. *Biol Open*. 9(9).

McGraw K, Hill G, Stradi R and Parker R (2001). The Influence of Carotenoid Acquisition and Utilization on the Maintenance of Species-Typical Plumage Pigmentation in Male American Goldfinches (*Carduelis tristis*) and Northern Cardinals (*Cardinalis cardinalis*). *Physiological and Biochemical Zoology* 74(6):843-852.

Montaudié H, Bertolotto C, Ballotti R y Passeron T (2014). Fisiología del sistema pigmentario. Melanogénesis. *EMC – Dermatología* 48(1):1-11.

Olkowicz S, Kocourek M, Lučan R K, Porteš M, Fitch W T, Herculano-Houzel S and Němec P (2016). Birds have primate-like numbers of neurons in the forebrain. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113(26):7255-7260.

Pearn S, Bennett A and Cuthill I (2001). Ultraviolet vision, fluorescence and mate choice in a parrot, the budgerigar (*Melopsittacus undulates*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 268(1482):2273-2279.

Pérez R (2011). Expresión y función del color del plumaje. Segunda parte: Carotenoides. *Ornitología Práctica* 42:42-49.

Rodríguez R, Poot P, Wilberth A, Ruíz R y Treviño C (2017). Nuevos registros de aves con anormalidad pigmentaria en México y propuesta de clave dicotómica para la identificación de casos. *Huitzil* 18(1):57-70.

Stettenheim P (2000). The Integumentary Morphology of Modern Birds-An Overview. American Zoologist, 40(4):461-477.

Mérit Barrera-Mendoza
Juan José Pérez-Rivero
José A. Herrera-Barragán
Departamento de Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco
jherrerab@correo.xoc.uam.mx

www.elementos.buap.mx

¿Qué es la fotónica?

Jesús Daniel **Valenzuela Sau**

La luz desempeña un papel crucial en la vida como la conocemos. Sin ella, simplemente no podríamos existir. Y como seres curiosos que somos nos preguntamos: ¿qué es la luz? Por mucho tiempo no fue una pregunta sencilla de responder pues su comportamiento puede ser desconcertante. ¿Está compuesta por ondas o por partículas?, ¿onda o partícula?, una cuestión que desató fuertes desacuerdos entre la comunidad científica al tratar de describir la naturaleza de la luz a mediados del siglo XVII.

Newton (1642-1727), considerado por muchos como el científico más importante de la historia, proponía que la luz estaba formada por "corpúsculos", pequeñas partículas invisibles al ojo humano, mientras que la mayoría de sus contrapartes, entre ellos Hooke (1635-1703), también muy notable, estaba a favor de considerar a la luz como un fenómeno "ondulatorio".

Hoy en día, gracias a los trabajos en el campo de la mecánica cuántica, es en general aceptado que la luz tiene una naturaleza dual: se comporta como onda y también como partícula. Una partícula puede ser entendida como un objeto material con cierto volumen y cierta masa. Esto es intuitivo y fácil de visualizar. Pero ¿qué es una onda? En palabras simples, se puede decir que una onda es una perturbación que se propaga en un medio (como dato interesante, contrario a una partícula, a una onda no se le puede relacionar con un volumen ni con una masa). Este medio de propagación puede ser el vacío;

Figura 1. Muestra de la fauna en Guaymas, Sonora, México. Fotografía por Yolanda Daniela Rivas Hernández. Instagram @yodakairiher.

Figura 2. Muestra de la fauna en Suaqui Grande, Sonora, México. Fotografía por Sinue Valenzuela Sau.

como en el espacio exterior fuera de la atmósfera del planeta, o puede ser un medio material como la tierra, el agua o el aire.

Por ejemplo, la voz humana son ondas de presión que se propagan a través del aire y que al llegar a nuestros oídos interpretamos como sonidos que nos ayudan a comunicarnos. Por otro lado, en el vacío, las ondas electromagnéticas, que comúnmente llamamos luz, se propagan libremente.

Así es como la luz del Sol nos alcanza viajando a casi 300,000 kilómetros por segundo y tardando poco más de 8 minutos en llegar. Una vez que la luz incide en la superficie terrestre, sus efectos son palpables y evidentes en nuestra vida diaria; pero, ¿se puede obtener un mayor beneficio de ella además de proveernos de alimentos mediante su papel en la fotosíntesis y de brindarnos los medios para poder ver por dónde caminamos? ¡Vaya que sí! Y no me refiero a los paneles solares ni al aprovechamiento térmico de la luz solar para generar electricidad, sino a un uso de la luz mucho más sutil. Tan sutil, que los seres vivos mostrados en las figuras 1 y 2 podrían tener la clave.

A lo largo del siglo XIX se descubrieron las leyes que rigen el electromagnetismo, incluida la luz, claro está. Estas se conocen como las leyes de Maxwell. A partir de ellas, se obtiene una ecuación que puede describir o predecir el comportamiento de la luz. Esta capacidad de predicción ha dado lugar al diseño de dispositivos que trabajan con luz que podrían sustituir o mejorar los componentes electrónicos, creando así un nuevo paradigma para la fabricación de teléfonos celulares, computadoras, televisores, etcétera. La rama de la física que estudia el control de la luz se conoce como fotónica.

A continuación, se presenta una pequeña reseña de cómo surgió este "control" de la luz y por qué es posible.

UNA IDEA REVOLUCIONARIA

Cuando encendemos una lámpara eléctrica –sea de tipo incandescente, fluorescente o led–, aunque su principio físico de funcionamiento es diferente, su luminosidad se debe a la emisión de fotones provocada por un gran número de electrones que está fluyendo a través de ella.

Estos electrones son provistos por la red de suministro eléctrico a través de cables conductores metálicos de cobre o aluminio que están recubiertos por un material aislante. Los electrones pueden moverse libremente por el elemento conductor, pero no pueden hacerlo por el aislante. Gracias a esto último, el suministro eléctrico es posible, eficiente y seguro.

Pues bien, así como los electrones fluyen libremente en los conductores, pero no en los aislantes,

a Eli Yablonovitch se le ocurrió que era posible que ciertos "colores" de luz podrían no propagarse en ciertos medios especiales. Él propuso que un medio podría funcionar como "conductor" para ciertos "colores" de luz, pero como "aislante" para otros (de forma análoga a lo que sucede en los conductores y aislantes eléctricos) (Yablonovitch, 1987). Fue así como surgió el concepto de los cristales fotónicos. Estos cristales son medios con características especiales que impiden el paso de luz con ciertas longitudes de onda.

LA CONFIRMACIÓN

Fue en 1987 cuando se propuso la existencia de los cristales fotónicos (Yablonovitch, 1987) y, dos años después, su existencia fue confirmada teóricamente (Yablonovitch y Gmitter, 1989). Más tarde, también fue comprobada experimentalmente (Meade *et al*., 1992).

A partir de entonces, se inició una carrera en la búsqueda de "mejores" cristales fotónicos con diferentes materiales y configuraciones.

Pero ¿qué es un cristal fotónico? Básicamente, es una estructura que tiene periodicidad, es decir, una estructura que tiene un patrón que se repite. Esta periodicidad puede ser en una, dos o tres dimensiones y es la clave para que estos cristales puedan impedir el paso de ciertas longitudes de onda de la luz.

Ya mencionamos que la luz está compuesta por ondas electromagnéticas. Estas son perturbaciones de campo eléctrico y magnético que tienen diferentes frecuencias de oscilación.

Por ejemplo, un color que en condiciones ideales percibimos como rojo, tiene una frecuencia de 442 millones de millones de oscilaciones por segundo (442 terahertz). Cada una de estas oscilaciones mide una longitud de 678 nm (nanómetros); a esa medida se le llama longitud de onda. Como referencia, un cabello humano mide aproximadamente 100 μm (micrómetros o micras), la décima parte de un milímetro. Un nanómetro es la milésima parte de un micrómetro. Entonces, 678 nm sería casi la séptima parte de una micra. Una distancia realmente pequeña para lo que estamos acostumbrados. Cada color de la luz tiene una frecuencia de oscilación y una longitud de onda propias.

El ser humano puede percibir ondas lumínicas desde los 380 nm hasta 750 nm aproximadamente, abarcando desde el violeta, el azul, el verde, el amarillo, el naranja y hasta el rojo. Comparativamente, el violeta tiene menor longitud de onda que el rojo. Fuera de este rango de colores, que también podemos llamar banda de frecuencias, también existen otros colores, como el ultravioleta (menos de 380 nm) y en infrarrojo (más de 750 nm), pero no podemos verlos.

También existen ondas electromagnéticas con longitudes de onda mucho más pequeñas, como los rayos X, usados para obtener radiografías, o los rayos gamma, que pueden afectar el ADN. Contrariamente, las longitudes de onda pueden ser más grandes: centímetros, metros o incluso kilómetros. Cada tipo de onda tiene un características diferentes y potenciales aplicaciones.

Pues bien. Conociendo estos datos sobre las ondas electromagnéticas, continuamos con los cristales fotónicos.

EL FENÓMENO FÍSICO CLAVE

¿Cómo un cristal fotónico puede impedir el paso de una banda de frecuencias electromagnéticas? Esto sucede debido a su periodicidad y al fenómeno físico conocido como "interferencia destructiva". Cuando dos o más ondas (sean electromagnéticas o de otro tipo) interactúan entre sí y se cancelan mutuamente, se dice que ocurrió interferencia destructiva. Usualmente, un cristal fotónico está conformado por vacío, o aire y otro material (un dieléctrico o aislante eléctrico).

Cuando una onda electromagnética pasa de un medio a otro, como en este caso de aire a dieléctrico o viceversa, cierto porcentaje de la onda atravesará al otro medio y otro porcentaje será reflejado en direcciones que dependerán de los parámetros del cristal, de manera que, fortuitamente, la

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

interferencia destructiva aparece. ¿Fortuitamente? ¡Eso no suena muy científico que digamos! ¡Pues así es! No hay manera de saber si un cristal fotónico presentará selectividad para el paso de ciertas longitudes de onda y otras no hasta hacer los cálculos correspondientes. Diferentes parámetros en un cristal fotónico se ajustan para propiciar la aparición de esta selectividad de bandas (bandas permitidas y bandas prohibidas). Uno de estos parámetros es el periodo que, al repetirse, forma el cristal. El tamaño del periodo es muy importante pues determina en qué rango de frecuencias estará la banda prohibida.

Por ejemplo, si se quiere que la banda prohibida esté en el azul a 500 nm, entonces el periodo del cristal debe ser cercano a ese tamaño y estar en ese mismo orden de magnitud, esto es, unos pocos cientos de nanómetros. Esta es una regla general para cualquier cristal fotónico. Ahora, ¿cuál es la utilidad de estas bandas prohibidas?

Retomando el ejemplo anterior, si tenemos un cristal fotónico que tenga una única banda prohibida entre 495 y 505 nm, y la luz del Sol incide sobre él, el cristal absorbería los colores fuera de la banda y reflejaría el color dentro de esa banda, y el cristal aparecería como azul a nuestros ojos. El cristal funcionaría como un espejo monocolor, absorbería todos los colores y reflejaría solo el azul. La interferencia destructiva es el fenómeno físico clave para la existencia de los cristales fotónicos.

LA NATURALEZA PONE EL EJEMPLO

Como se mencionó, parte de las aplicaciones de los cristales fotónicos ha sido enfocada en la mejora o sustitución de los dispositivos electrónicos.

En años recientes, diferentes estudios han sumado esfuerzos para la realización de diodos (Purayil *et al*., 2022; Ye *et al*., 2018) y transistores (Arkhipkin y Myslivets, 2013; Yanik *et al*., 2003) completamente ópticos. Estos dispositivos son elementos fundamentales de la electrónica actual en aplicaciones

simples como los controles de encendido y apagado, o tan complejas como los microprocesadores de última generación.

Así como los dispositivos electrónicos fueron perfeccionándose a lo largo de varias décadas, es de esperar que suceda lo mismo con los dispositivos ópticos.

El estudio de los cristales fotónicos no es más que un suspiro comparado con el uso que la naturaleza les ha dado. Gracias a la ayuda de los microscopios actuales, se ha encontrado que insectos, arácnidos, aves, fauna marina, plantas, etcétera. (Vigneron y Simonis, 2012), integran cristales fotónicos naturales gracias a los cuales estos seres despliegan colores muy llamativos.

En la naturaleza, los colores pueden ser usados para señalizar ciertos estados, para asegurar la supervivencia de las especies, proveyendo de alimentos, alertando del peligro, proporcionando la mejor pareja, etcétera.

Aunque no todos los colores en el mundo natural se deben a los cristales fotónicos, una cantidad nada despreciable sí, y unos de los despliegues más impresionantes se dan en el escarabajo de oro (*Chrysina resplendens*), en la mariposa morpho (*Morpho didius*), en las plumas de la cola de pavo real macho (*Pavo cristatus*) y en el escarabajo verde metálico (*Chrysochroa vittata*).

© Emilio Salceda. *Xinacates*.
San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

La utilidad de los cristales fotónicos en la naturaleza es evidente, y en las últimas décadas se ha encontrado el fundamento para que el ser humano pueda aprovecharlos también.

CONCLUSIÓN

Gracias a los cristales fotónicos, en un futuro no muy lejano se vislumbran teléfonos celulares y computadoras más eficientes, es decir, que consuman menos energía y sean más rápidos. ¿Son críticos estos dispositivos para la supervivencia del ser humano? Realmente no; sin embargo, si los cristales fotónicos nos llevan a superar dependencias energéticas y a causar menos contaminación, será un gran logro para la humanidad.

REFERENCIAS

Arkhipkin V and Myslivets S (2013). All-optical transistor using a photonic-crystal cavity with an active Raman gain medium. *Phys. Rev.* A 88:033847.

Meade R *et al.* (1992). Existence of a photonic band gap in two dimensions. *Appl. Phys. Lett.* 61:495.

Purayil N *et al.* (2022). All-Optical Diode Action through Enhanced Nonlinear Response from Polymeric Photonic Crystal Microcavity. *ACS Applied Electronic Materials 4*(1):138-148.

Vigneron J and Simonis P (2012). Natural photonic crystals. *Physica B* 407:032-4036.

Yablonovitch E (1987). Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics and Electronics. *Phys. Rev. Lett.* 58**:**2059.

Yablonovitch E and Gmitter T (1989). Photonic Band Structure: The Face-Centered-Cubic Case. *Phys. Rev. Lett*. 63:1950.

Yanik M *et al.* (2003). All-optical transistor action with bistable switching in a photonic crystal cross-waveguide geometry. *Optics Letters* 28(24):2506-2508.

Ye H *et al.* (2018). Optical Diode Based on Two-Dimensional Photonic Crystal. (Edited by Alexander V. Vakhrushev), *Theoretical Foundations and Application of Photonic Crystals*. IntechOpen.

Jesús Daniel Valenzuela Sau
Instituto de Física "Ing. Luis Rivera Terrazas"
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
daniel.valenzuela@live.com

© Emilio Salceda. *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

www.elementos.buap.mx

¿Quién tiró pintura verde en el lago?

Ana Laura **Aguilar Revilla**
Esther Aurora **Ruiz Huerta**
Juan Miguel **Gómez Bernal**

Hace algunos años, en una visita y recolecta en un lago importante de la Ciudad de México, una persona hizo un comentario haciendo alusión a que el lago había sido vandalizado pues creía que alguien había vertido pintura verde al cuerpo de agua.

Ahí aprendí que el florecimiento de ciertos organismos, llamados algas, habían teñido el agua de dicho lago de color verde.

Tiempo después, en una segunda colecta, los curiosos se acercaban al lugar a preguntarnos qué era lo que hacíamos en el lago que era el objeto de estudio. Buscábamos explicarles el cómo y el por qué se realizaban ciertas técnicas para colectar microalgas. Sin embargo, notamos que no había mucho interés sobre los organismos sino por el método de colecta, al ser posiblemente algo nuevo que jamás habían presenciado.

Situaciones como las anteriores nos generaron una pregunta: ¿por qué en algunos lugares donde hay gran cantidad de agua, esta tiene un color verde?

El objetivo de este trabajo es explicar a las personas ajenas al ámbito científico que esa lama en el agua estancada, que los tonos verdes en sus bañeras, que ese color verdoso en sus cisternas o en los lagos, son producto de las maravillosas algas.

División	Características	Principales representantes en México
Microalgas de aguas continentales		
Cianophytas	Organismos de forma muy variada, solitarias, agregados coloniales o largos hilos llamados filamentos. Muchas segregan una sustancia llamada mucílago. Algunas liberan toxinas[1]. Contienen clorofila a[1]	*Microcystis aeruginosa*[2] (producen toxinas que afectan el hígado) *Arthrospira jenneri* (Elaboración de espirulina)[3]
Chlorophytas	Grupo muy diverso en todos los ambientes. Pueden ser unicelulares, cenobios, filamentos, colonias. Con clorofila a y b[4]	*Pseudopediastrum boryanum*[2]
Dinophyta (dinoflagelados)	Mayoritariamente unicelulares. Con flagelos que sirven para su movilidad. Contienen clorofila a, c[1], c[2] y c[3, 5]	*Peridinium*[5] *Ceratium*[5]
Cryptophyta (doradas)	Unicelulares, contienen almidón.[5] Con clorofila a y c.[2, 4] Con flagelos que sirven para su movilidad[5]	*Chilomonas oblonga*[2] *Cryptomonas erosa*[2]
Euglenophyta	Unicelulares flagelados, que sirven para desplazarse. Presentan sustancias de reserva. Con clorofila a y b[6]	*Euglena caudata*[6] *Phacus acuminatus*[6]
Bacillariophytas (Diatomeas)	Unicelulares. Secretan una sustancia mucilaginosa que les permite deslizarse por el sustrato y superficies.[7] Con clorofila a y c[4]	*Nitzschia frustulum*[7] *Pseudostaurosira brevistriata*[7] Utilizadas como indicadores ambientales[7] y elaboración de tierra de diatomeas
Macroalga de agua continental		
Chlorophytas	Crecen en forma de láminas y en corrientes frías (-8°C) y a grandes altitudes[8]	*Prasiola mexicana*[8]

Fuentes: 1. González y Echenique, 1998; 2. Novelo y Tavera, 2022; 3. Fernández *et al*., 2019; 4. González, 1987; 5. Oliva *et al*., 2014; 6. Osnaya, 2021; 7. Buendía *et al*., 2015; 8. Ramírez, 2004.

Tabla 1. Principales microalgas y macroalgas presentes en ambientes continentales. Elaboración propia.

¿QUÉ SON LAS ALGAS?

Las algas son organismos autótrofos, es decir, que producen su propia energía a través de elementos inorgánicos obtenidos de alguna fuente de energía (Curtis *et al*., 2011), y que al igual que las plantas realizan fotosíntesis para poder obtener los nutrientes necesarios para sobrevivir.

Las hay de muchas morfologías (esféricas, medias lunas, triangulares), colores (verde, verde-azules, rojas, amarillas o doradas, cafés) y también de diferentes tamaños (desde 1 micra que equivale a 0.001 milímetros, hasta 30 metros). Las algas se pueden encontrar en ambientes con nieve, desiertos, lagos, océanos, ríos, charcos, rocas, suelos, árboles, pastos, hierbas o, en general, en cualquier sitio con humedad (Belcher y Swale, 1978).

En la biología, la rama que se dedica al estudio específico de estos organismos es la ficología, y los especialistas en algas son llamados ficólogos.

LAS ALGAS Y LAS PLANTAS ¿SON LO MISMO?

Las algas y las plantas generan su energía gracias a la fotosíntesis; sin embargo, no son iguales. Una de las diferencias más notables es el tejido que constituye a cada una.

Mientras que las plantas tienen sistemas muy bien delimitados que conducen agua y nutrientes (llamados xilema y floema, respectivamente), tienen raíces, tallos y hojas bien definidas (Martínez y Ginez, 2014).

Las algas tienen estructuras vegetativas simples, sin estructura vascular de conducción definida u órganos reproductores constituidos (Sheath *et al*., 2015).

DIVERSIDAD EN EL MUNDO DE LAS ALGAS

Debemos aclarar que es muy complicado poder agrupar un mundo tan diverso de organismos, debido a que lo que todas pueden tener en común es que entre ellas son diferentes.

Podemos iniciar clasificándoles por el tipo de célula que presenten, es decir procarionte y eucarionte (células sin núcleo y con núcleo, respectivamente. Otra característica a tomar en cuenta es su tamaño: nos referimos a las microalgas, que son todas aquellas que solo pueden ser observadas mediante un microscopio, (grupo en el que nos enfocaremos en este escrito) y las macroalgas, que son aquellas visibles a simple vista; estas últimas son mayormente reconocidas por la población en general.

Un factor más a tomar en cuenta para la clasificación de un grupo tan heterogéneo tiene que ver con los pigmentos que contienen; es decir, que dependiendo del color que presentan, entran en alguna de las siguientes divisiones: Cianophyta o algas verde-azules, Chlorophyta o algas verdes, Ochrophyta o algas cafés y Rodophyta o algas rojas. (López *et al*., 2020).

Para microalgas, también hay otras agrupaciones, pues existen los Dinophyta o dinoflagelados, Cryptophyta o algas doradas y las Euglenophyta, que en su mayoría son algas unicelulares, es decir de una sola célula (Tabla 1)

¿DÓNDE VIVEN LAS ALGAS?

Estrictamente, las algas continentales son aquellas que viven, crecen y se reproducen en cuerpos de agua dentro del continente. Para estos particulares organismos, el ambiente en el que habiten debe contar con una excelente radiación luminosa (Gómez, 2007), y es requisito que la luz directa del Sol penetre el lugar en donde está establecida el alga, ya sea a través de la capa de agua o por incidencia en la roca, madera o material en el que las algas se hayan asentado; por ejemplo, en el caso de las algas subaéreas que crecen en diferentes sustratos pero no están estrictamente sumergidas en agua, conviene la radiación luminosa más bien intermitente (Ibarra y Novelo, 2018).

Otros factores a tomar en cuenta son la temperatura, la disponibilidad de oxígeno y sobre todo el aprovechamiento de nutrientes para que cada grupo pueda establecerse en un hábitat (Figura 1) (Gómez, 2007).

¿CÓMO SE DIFERENCIAN LAS ALGAS CONTINENTALES DE LAS MARINAS?

Las algas que son más comúnmente conocidas son las macroalgas marinas que se encuentran en las costas y en las playas. La atención se centra en ellas debido a problemas relacionados con las altas cantidades de biomasa que representa; tal es el caso del sargazo en los mares, que afecta de manera visual, económica y ecológica al sector turístico del país.

No hay que dejar de lado a las algas continentales que, aunque no son muy conocidas, su presencia o sobrepoblación también pueden afectar sectores más allá de los ambientales en los lugares que habitan.

Son tan diminutas que no son visibles al ojo humano, no obstante, cumplen ciclos ecológicos importantes en la misma medida que lo hacen las macroalgas marinas; la diferencia entre ambos grupos, más allá de su morfología, radica en las diferentes condiciones ambientales que necesitan para sobrevivir, que van desde la salinidad, el pH, los contaminantes o los organismos con los que comparten el ecosistema (Figura 2).

¿CUÁL ES LA FUNCIÓN DE LAS ALGAS EN LOS ECOSISTEMAS?

Cuando hablamos de ecosistemas, nos referimos a una unidad organizada en espacio, tiempo y forma donde interactúan los seres vivos (plantas, animales, protozoarios, por mencionar algunos) y los seres no vivos (tierra, rocas, montañas, etcétera) (Curtis *et al*., 2011).

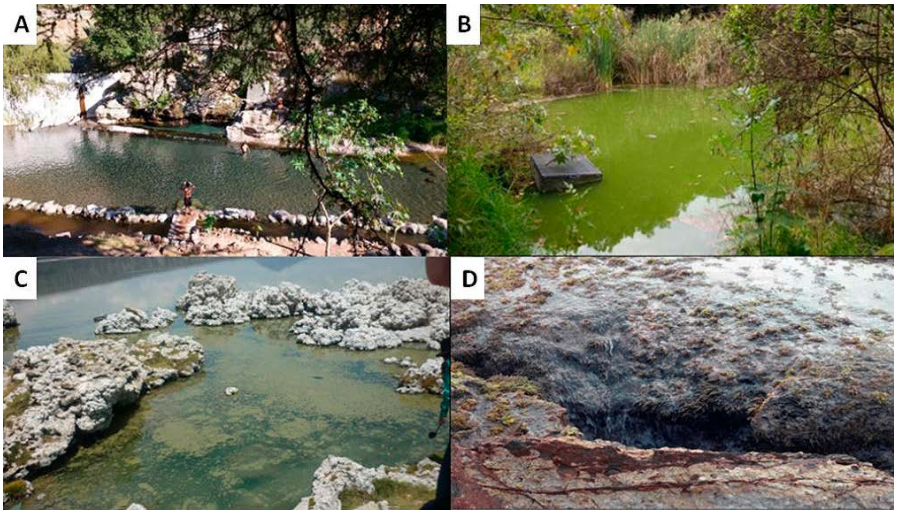


Figura 1. Diferentes ambientes en los que encontramos microalgas. A) Lago en Hidalgo; B) Lago en Cantera Oriente, CDMX; C) Lago de Alchichica, en Puebla. D) Algas marinas en Veracruz. Fotos propias.

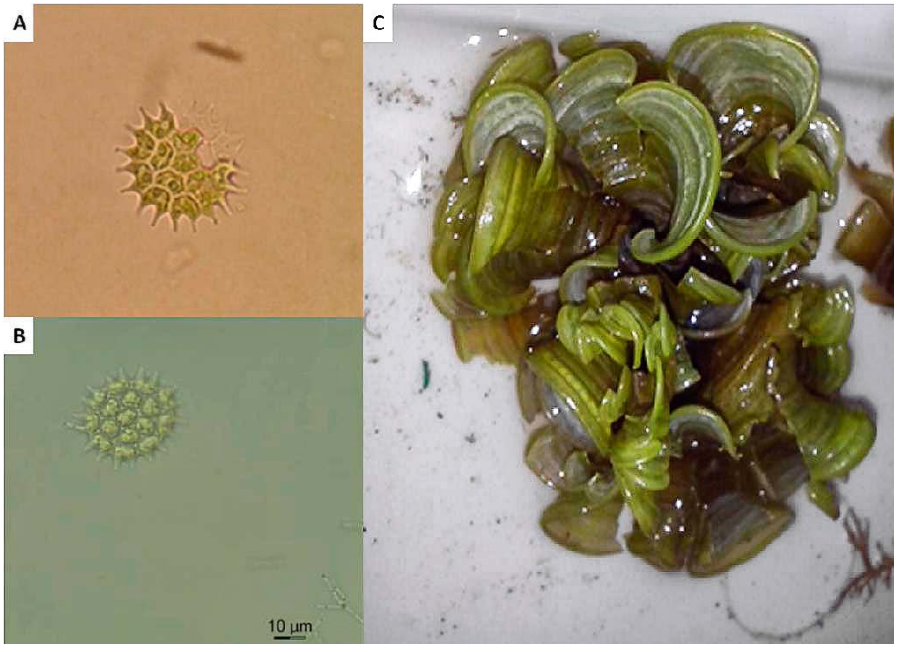


Figura 2. A) Microalga continental del género *Pseudopediastrum* vista al microscopio (foto propia); B) *Pseudopediastrum*; C). Macroalga marina del género *Padina* (foto proporcionada por Meztli García Vázquez).

Imaginemos pequeños eslabones que representan tanto organismos vivos como no vivos, cada uno está conectado entre sí y, al unirse, forman una gran cadena que representa las interacciones en un ecosistema.

La base de estos ecosistemas se centra en la energía y la materia que va fluyendo entre los eslabones, por lo que, si un eslabón se rompe, la cadena deja de funcionar. Las algas representan el primer eslabón necesario para el flujo de energía, ya que son las portadoras de oxígeno al ambiente acuático y también ingresan las primeras moléculas orgánicas al medio y, por lo tanto, son la base para que los demás seres vivos obtengan los alimentos en el ecosistema (Gómez, 2007; Novelo y Tavera, 2011).

¿CÓMO SE RECOLECTAN LAS MICROALGAS?

Cuando se realizan investigaciones cuyo objeto de estudio son microalgas, se deben esclarecer los objetivos a perseguir y elegir el área a estudiar, ya sea porque el sitio presenta contaminación, porque

sea algún lugar con descargas de nutrientes, con descargas de residuos urbanos, agrícolas o mineros, entre muchos otras causas.

Los ficólogos deben tener en cuenta muchos factores para poder realizar estas exploraciones, incluyendo el tiempo en que se tomarán las muestras (si es temporada de lluvia o seca), la temperatura del día, si hay algún método de remoción o revolvimiento de agua activo en el lugar, la hora en la cual se acudirá, si se puede acceder fácilmente o es necesario algún vehículo, lancha o equipo especial para llegar al lugar del muestreo, etcétera (Moreno, 2004).

Usualmente se usan redes especiales cuyas aberturas de malla son diminutas, casi imperceptibles al ojo humano, frascos o cajas especiales para el transporte de las algas, espátulas para levantar costras si es el caso, etcétera.

Una vez en el laboratorio, se observan las algas y se siguen diferentes métodos de preservación de estas muestras, lo que nos ayudará después a seguir usando el material colectado. Por ejemplo, si se busca mantener algunas muestras vivas, estas deben seguir un método de conservación en un ambiente frío y con luz fluorescente, o de oscuridad total; esto para que no haya bacterias o para producir una disminución de oxígeno y, de esa manera, mueran (Moreno, 2004).

Sin embargo, aquí no termina el trabajo, pues si se busca saber exactamente quiénes son esos organismos con nombre y apellido, se debe acudir a la taxonomía, que es la ciencia que se encarga de clasificar a los grupos de organismos que existen (Rico y Magaña, 2007).

Esto con ayuda de claves taxonómicas. Pero la labor de nombrar a estos organismos es complicada debido a que las claves, que son una guía con pasos jerarquizados para poder asignarle el nombre a la especie que estamos observando, fueron elaboradas en otros países cuyas condiciones climáticas, ambientales y de desarrollo son totalmente diferentes a las que encontramos en la región geográfica de México. Aunado a lo anterior, nuestro país pertenece a la lista de países megadiversos debido a los endemismos que presenta y que serán condicionantes que van a influir en el tipo de especies de algas continentales que encontramos.

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE CONOCERLAS?

Nuestros asentamientos están relacionados con las aguas continentales debido a que tenemos distintos puntos de agua en las ciudades o cerca de ellas.

Con el paso de los años el interés por estos organismos ha ido en aumento, ya que se puede ver un incremento tanto en el número de trabajos de diferentes grados académicos, como en la cantidad de especies descritas en el país, por lo que podemos inferir que la comunidad científica ha notado la importancia y lo esencial de estos grupos (Novelo y Tavera, 2011).

Un aspecto a tomar en cuenta, es que las algas son vistas en muchos sitios como una consecuencia negativa, desagradable, e incluso como un infortunio, obviando la importancia, la relevancia y el papel que juegan en el ambiente. Lo cierto es que cuando algunos tipos de algas tienen el medio, los nutrientes y las facilidades para crecer, lo harán causando florecimientos importantes.

Un ejemplo de una microalga de importancia nociva es un grupo de cianofíceas, llamadas *Microcystis*, que producen una toxina llamada microcistina. Esta toxina causa daño al hígado de mamíferos (Carmichael, 1994) y desde los años cincuenta se tienen registros sobre su relación con alergias en las poblaciones humanas (Ressom *et al*., 1994).

Las especies de este grupo de algas se han encontrado en lagos urbanos, cuerpos de agua de abastecimiento y recreación como el lago de Chapultepec, en la Ciudad de México, lo que las convierte en un foco rojo para la salud y a su vez en una oportunidad para el aumento del conocimiento sobre estos organismos (Segura, 2012).

Como lo mencionamos, los trabajos sobre la materia han ido en aumento; no obstante, son pocos los grupos que se dedican al estudio de las microalgas continentales en México.

Debido a esto parece que en el mundo de las algas en general quedan aún muchas cosas por descubrir y describir. Convivimos con ellas diariamente pues son omnipresentes, necesarias y morfológicamente son preciosas.

Así que la próxima vez que visites algún lago con un particular color verde o veas algún manchón húmedo con ese color, recuerda que el agua no está sucia, y que son las bellísimas algas las que dan color a ese sitio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo otorgado a Ana Laura Aguilar Revilla (2878902) por el Programa Jóvenes Construyendo el Futuro en el Área de Ciencia y Tecnología (centro de trabajo, 96787). A Meztli García Vázquez por proporcionarnos la foto de *Padina*, y a Cecilia Cervantes Cano por las observaciones al manuscrito.

R E F E R E N C I A S

Belcher H and Swale E (1978). *A beginner´s guide to Freshwater Algae*. Institute of Terrestrial Ecology.

Buendía M, Tavera-Sierra R y Novelo-Maldonado E (2015). Florística y ecología de diatomeas bentónicas de la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac, México. *Botanical Sciences 93*(3):531-558.

Carmichael W (1994). The toxins of Cyanobacteria. *Scientific American* 270:78- 86.

Curtis H, Barnes NS, Schnek A, Massarini A (2011). *Biología*. Editorial Panamericana, China.

Fernández A, Alvítez-Izquierdo E y Rodríguez-Rodríguez EF (2019). Taxonomía e importancia de "spirulina" Arthrospira jenneri (Cyanophyceae: Oscillatoriaceae). *Arnaldoa* 26(3):1091-1104.

Gómez L (2007). Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química* 19(2):3-20.

González D y Echenique R (1998). Las cianofitas. *Museo* 12:77-80.

González J (1987). Las algas de México. *Ciencias* 10:16-25.

Ibarra C y Novelo E (2018). Algas y cianoprocariontes epilíticos de la Zona Arqueológica de Yaxchilán, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89(3):590-603.

López I, Martínez-González L, Pérez-Domínguez G, Reyes-Guerrero Y, Núñez-Vázquez M, Cabrera- Rodríguez JA (2020). Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. *Cultivos Tropicales* 41(2):10-20.

Martínez M y Gínez L (2014). Embryophyta, sus relaciones y sus sinapomorfías. En Valencia S (Ed), Introducción a las embriofitas (23-35). UNAM, México.

Moreno J (2004). Fitoplancton. En De la Lanza, G (Ed). Guía para la colecta, manejo y las observaciones de campo para bioindicadores de la calidad del agua (10-34). CONAGUA, México.

Novelo E y Tavera R (2011). Un panorama gráfico de las algas de agua dulce en México. *Hidrobiológica* 21(3):333-341.

Novelo E y Tavera R (2022). bdLACET Base de datos de algas continentales. Recuperado de: https://bdlacet.mx.

Oliva M, Godínez-Ortega J y Zuñiga-Ramos CA. (2014). Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. *Revista mexicana de biodiversidad* 85:54-61.

Osnaya E (2021). *Diversidad del Orden Euglenales en lagos urbanos de la Ciudad de México, México*. Tesis de licenciatura. UNAM, México.

Ramírez R (2004). *Taxonomía y distribución de Prasiola (Prasiolales, Chlorophyta) en ambientes lóticos de la región central de México*. Tesis de licenciatura. UNAM, México.

Ressom R and National Health Medical Research Council (1994) *Health effects of toxic cyanobacteria (blue-green algae)*, National Health and Medical Research.

Rico L y Magaña P (2007*).* La nomenclatura botánica en la sistemática del siglo XXI. *Ciencias* 87:70-76.

Segura M (2012). *Construcción de un modelo matemático para la predicción de la microcistina-lr intracelular a partir de la biomasa y la clorofila a.* Tesis de licenciatura. UNAM, México.

Sheath R y Wehr J (2015). Introduction to the Freshwater Algae. En Wehr JD, Sheath RG, Kociolek JP (eds.). *Freshwater Algae of North America* (1-11). *Academic Press.*

Ana Laura Aguilar Revilla
Área de Ciencia y Tecnología
Centro de Trabajo Jóvenes Construyendo el Futuro
dooguie70@gmail.com

Esther Aurora Ruiz Huerta
Instituto de Geofísica
Universidad Nacional Autónoma de México

Juan Miguel Gómez Bernal
Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México

www.elementos.buap.mx

Microorganismos benéficos o agroquímicos

Betsie **Martínez Cano**
Genaro Martín **Soto Zarazúa**

¿Sabías que mediante la agricultura no solamente se producen nuestros alimentos? Gracias a los sistemas agrícolas también se cultivan el tabaco, así como las materias primas para la elaboración de textiles, alimentos para animales, bebidas alcohólicas y biocombustibles. Es por esto que, en la actualidad, la agricultura enfrenta el reto de producir gran cantidad de productos para satisfacer las demandas de la población. Sin embargo, la mayor parte de la producción agrícola se obtiene de sistemas intensivos que buscan incrementar el rendimiento de los cultivos a corto plazo, con frecuencia utilizando insumos de manera excesiva; uno de estos insumos son los agroquímicos, como plaguicidas y fertilizantes sintéticos, que generan un impacto negativo para el medio ambiente. Como resultado del uso de dichos insumos el suelo, los bosques, el agua, la calidad del aire y la biodiversidad se encuentran en constante degradación.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2019), las malas prácticas agrícolas han ocasionado que un tercio de la superficie terrestre esté altamente degradada. Usualmente, en la agricultura de riego se hace un mal manejo del agua potable, ya que se suministran cantidades excesivas de agua a los cultivos. Además, el uso de agroquímicos contribuye con el 13 % de las emisiones de gases de

efecto invernadero provenientes de la agricultura y ganadería; dichas emisiones consisten en gas óxido nitroso generado por la adición de nitrógeno sintético en el suelo. Por ello se estima que, en el 2050, el 90 % de la tierra presentará un alto grado de deterioro, 700 millones de personas no tendrán acceso a la alimentación y el 40 % de la población no tendrá agua potable (FAO, 2017).

En este contexto, los esfuerzos se han enfocado en el desarrollo de nuevas tecnologías agrícolas; estas tecnologías deben garantizar la explotación racional de los recursos naturales, preservar el suelo y el medio ambiente, así como mantener o maximizar la productividad y calidad de los cultivos. Es así como surge la agricultura sostenible, cuyos objetivos principales son:

- Procurar la seguridad alimentaria mundial.
- Promover ecosistemas saludables.
- Apoyar la gestión sostenible de la tierra, el agua y los recursos naturales.
- Satisfacer las necesidades de las generaciones actuales de productos y servicios, sin comprometer la capacidad de generaciones futuras para hacerlo.

La agricultura sostenible busca incrementar el rendimiento de los cultivos en una menor unidad de superficie, disminuir las enfermedades y aumentar la calidad de los cultivos de manera económicamente viable; lo anterior a través de la minimización del uso de agroquímicos y apoyándose en el uso de recursos biológicos. Actualmente existen diferentes tecnologías que permiten disminuir el impacto ambiental negativo causado por la agricultura:

- Los invernaderos inteligentes, que permiten controlar el riego, la climatización y la iluminación para conseguir producciones de calidad y mayor rendimiento en cualquier época del año.
- Los sistemas hidropónicos, que utilizan agua y un medio de cultivo diferente al suelo para proporcionar nutrientes a las plantas, minimizando el uso de tierra para fines agrícolas.
- Los sistemas acuapónicos, que integran la producción de peces y la producción de hortalizas sin requerir tierra de cultivo. En estos sistemas, los desechos metabólicos de los peces son aprovechados por los vegetales como nutrientes, mientras que las plantas eliminan los compuestos tóxicos para los peces.
- Los reguladores de crecimiento y bioestimulantes, que tienen como finalidad manipular o regular procesos fisiológicos en las plantas y obtener un desarrollo más eficiente.
- Los microorganismos promotores de crecimiento vegetal, que son una alternativa promisoria para aumentar el rendimiento y calidad de los cultivos sin afectar de manera negativa al medio ambiente.

En particular, los microorganismos promotores de crecimiento vegetal han llamado la atención por sus beneficios sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, así como en la salud y productividad de las plantas. En este trabajo se discuten los beneficios del uso de microorganismos en la agricultura, sus cualidades y la problemática que presentan para ser considerados una alternativa real de los agroquímicos. Finalmente, se abordarán los retos científicos y tecnológicos para que los microorganismos benéficos sean una opción viable y efectiva para su uso en la agricultura.

UTILIDAD DEL USO DE MICROORGANISMOS PARA LAS PLANTAS

En el suelo habitan una gran cantidad de microorganismos que tienen propiedades que benefician a los cultivos, a la estructura de la tierra y a la calidad ambiental. La importancia de estos organismos en la agricultura radica en su efecto sobre la disponibilidad de nutrientes, por su capacidad para fijar, solubilizar, movilizar y reciclar compuestos necesarios para el crecimiento vegetal; asimismo, estos microorganismos tienen un efecto sobre la salud y productividad de los vegetales, aparte de su acción como remediadores de suelo contaminado. Por ello, estos microscópicos seres pueden utilizarse para mejorar las características de tierras

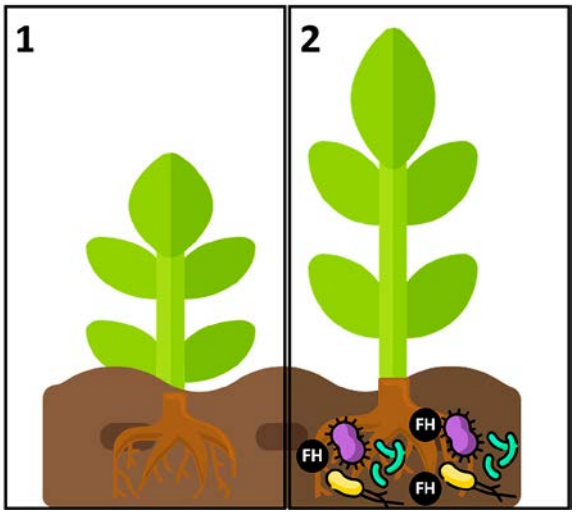


Figura 1. En suelos donde no hay microorganismos bioestimulantes el crecimiento se da de manera más lenta (1); los microorganismos bioestimulantes liberan fitohormonas (FH) en el suelo, las cuales son absorbidas por las plantas a través de la raíz y aumentan el crecimiento vegetal (2).

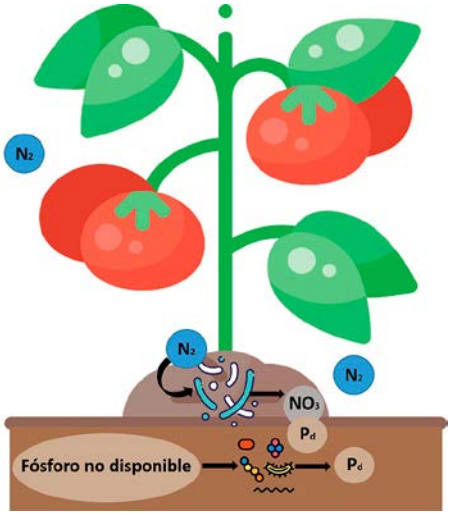


Figura 2. Los microorganismos biofertilizantes tienen la capacidad de aportar nutrientes esenciales para las plantas. Algunos microorganismos toman el nitrógeno atmosférico (N_2) y lo convierten en nitrato (NO_3), mientras que otros toman el fósforo no disponible del suelo y lo liberan como fósforo disponible (P_d). Estos compuestos son nutrientes importantes para el crecimiento vegetal.

agrícolas, así como aumentar el rendimiento y calidad de los cultivos.

Por lo anterior, el uso de microorganismos benéficos es una alternativa para sustituir de manera parcial o total a los agroquímicos. Estos microorganismos funcionan como bioestimulantes (estimulan el crecimiento de las plantas por la producción de hormonas), biofertilizantes (aumentan la disponibilidad de nutrientes para las plantas), o biocontroladores (por su acción para minimizar plagas y enfermedades). A continuación se describen los tipos de microorganismos y las características que llevan a considerarlos una alternativa a los agroquímicos.

Microorganismos bioestimulantes. Las plantas, de manera natural, producen hormonas o reguladores de crecimiento, denominadas fitohormonas; estas son compuestos orgánicos complejos cuya finalidad es el control del crecimiento y productividad. En el suelo hay microorganismos capaces de sintetizar mayor cantidad de fitohormonas que las plantas, y al liberarlas en el suelo pueden ser utilizadas por los cultivos para mejorar su crecimiento (Figura 1). Estas hormonas actúan principalmente en la división celular, germinación de semillas, desarrollo de raíz y elongación de tallo.

Microorganismos biofertilizantes. Los microorganismos del suelo son responsables de llevar a cabo los ciclos de nutrientes y la descomposición de la materia orgánica; asimismo, permiten que los nutrientes que se encuentran fijados químicamente, como el fósforo, el zinc, el potasio y el hierro, estén disponibles para las plantas (Figura 2). Los microorganismos empleados como biofertilizantes llevan a cabo diversos mecanismos, siendo los más importantes los que se describen a continuación:

- Fijación biológica del nitrógeno. Es la reacción en la que, a partir del nitrógeno atmosférico, se producen nitratos, que son aprovechados por las plantas.
- Solubilización de fosfatos. En la naturaleza el fósforo se encuentra en formas no disponibles para las plantas; sin embargo, algunos microorganismos producen ácidos orgánicos o enzimas que liberan el fósforo para hacerlo biodisponible.
- Solubilización de hierro. El hierro forma complejos insolubles que la planta no puede absorber para su nutrición. Algunos microorganismos secretan compuestos que solubilizan el hierro y aumentan su disponibilidad.

Microorganismos para biocontrol. Existen diferentes plagas y enfermedades (fitopatógenos) que afectan la salud de las plantas y disminuyen su

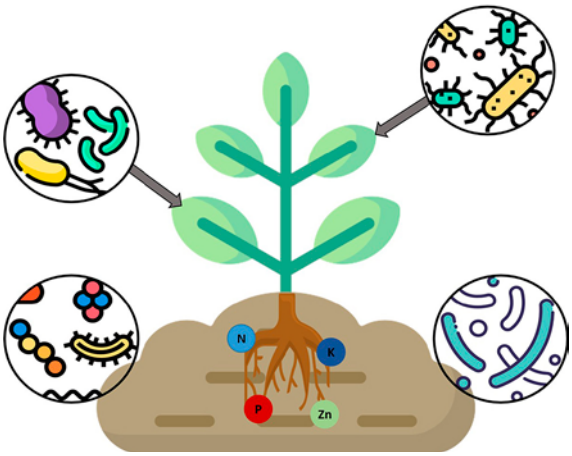


Figura 3. Microbioma de las plantas en hojas, tallos, raíces y suelo, el cual es útil para la obtención de nutrientes y la defensa contra fitopatógenos.

producción. Una alternativa para contrarrestar los fitopatógenos es el uso de microorganismos que son enemigos naturales de dichos organismos. A esta alternativa se le conoce como biocontrol. Generalmente, estos microorganismos provienen del microbioma de las plantas; es decir, de los microorganismos benéficos que habitan en las diferentes partes de la planta (Figura 3).

Actualmente, existen estudios del uso de microorganismos que reportan múltiples beneficios en la agricultura bajo un ambiente controlado (Tabla 1). Sin embargo, cuando los microorganismos benéficos son utilizados en campo no se obtiene el rendimiento alcanzado por un agroquímico, por lo cual este tipo de microorganismos no han podido sustituir dichos insumos. En la siguiente sección se brindará más información sobre este tópico.

PROBLEMÁTICA DEL USO DE MICROORGANISMOS

El uso de microorganismos benéficos para la agricultura no se ha extendido ampliamente debido a que presentan diferentes problemas.

El principal inconveniente que tienen es la selectividad; es decir, los microorganismos actúan de diferente manera de acuerdo con el tipo de planta y el tipo de suelo.

Mecanismo de acción	Cepa microbiana	Acción específica
Microrganismos bioestimulantes	Bacillus sp	Libera auxinas, citoquininas, giberelinas, etileno y ácido abscísico
	Rhizobium sp	Libera auxinas, giberelinas y citoquininas.
	Pseudomonas sp	Libera auxinas, citoquininas
	Trichoderma virens	Libera compuestos relacionados con las auxinas
	Trichoderma harzianum	Libera ácido indolacético y algunas citoquininas
	Penicillium sp	Libera giberelinas
	Fusarium oxysporum	Produce una gran cantidad de compuestos volátiles
Microorganismos biofertilizantes	Aspergillus niger	Solubiliza fósforo de roca fosfórica por producción de ácidos orgánicos
	Phoma sp	Aumenta la disponibilidad de nitrógeno
	Bradyrhizobium sp	Fijación de nitrógeno mediante simbiosis
	Azotobacter sp	Fijación de nitrógeno
	Azospirillum sp	Fijación de nitrógeno
	Burkholderia sp	Fijación de nitrógeno
	Enterobacter sp	Solubilización de fosfato
	Serratia sp	Solubilización de fosfato
	Streptomyces	Producción de sideróforos
Microorganismos para biocontrol	Bacillus licheniformis	Inhibe el crecimiento de Verticillium dahliae
	Enterobacter sp	Reduce la enfermedad por Clavibacter michiganensis
	Pseudomonas spp	Reduce la enfermedad por Xanthomonas euvesicatoria
	Bacillus spp	Disminuye el daño causado por Pythium sp., Rhizoctonia solani.
	Trichoderma harzianum	Induce resistencia sistémica contra Colletotrichum graminícola. Disminuye la marchitez bacteriana causada por Ralstonia solanacearum y Fusarium oxysporum.

Tabla 1. Microorganismos bioestimulantes, biofertilizantes y para biocontrol utilizados en la agricultura (Malgioglio *et al*., 2022).

Por lo tanto, la variación en la selectividad puede dar como resultado una baja eficacia en condiciones de campo, donde varios componentes actúan simultáneamente. Además, los microorganismos

© Emilio Salceda. *Xinacates*.
San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

colocados directamente en el suelo pueden ser afectados negativamente por la competencia de microorganismos nativos y condiciones ambientales desfavorables.

Actualmente hay productos que contienen microorganismos benéficos denominados biofertilizantes; sin embargo, la mayor parte de ellos tienen una baja calidad y carece de una formulación adecuada. Adicionalmente, si el microorganismo no es robusto es difícil que sobreviva. Aunado a lo anterior, aún no se tiene un régimen establecido para las características de los productos que contienen microorganismos benéficos.

En un estudio se analizó un grupo de productos microbianos y se encontró que solamente el 37 % de los productos son puros; es decir, el 63 % se encuentra contaminado por otros microorganismos no benéficos, y el 40 % no contiene ningún microorganismo correspondiente al producto (Herrmann *et al*., 2015).

Los resultados anteriores muestran la necesidad de mejorar la calidad y contenido de los productos comercializados actualmente, con principal atención en los microorganismos benéficos y en la formulación.

En resumen, existen cuatro principales problemas relacionados con el uso de microrganismos benéficos en la agricultura, los cuales pueden considerarse los principales desafíos para detonar la tecnología de los biofertilizantes:

1. La selectividad de los microorganismos benéficos, ya que no tienen el mismo efecto sobre todas las plantas.
2. El tipo de formulación en ocasiones no es el adecuado, y los microorganismos mueren antes o durante su aplicación.
3. La baja calidad de los productos comerciales, debido a la nula normativa para productos microbianos en el país.
4. El poco o nulo conocimiento que tienen los productores agrícolas de los productos basados en microorganismos benéficos.

Esta problemática afecta la adopción de la nueva tecnología por parte de los productores agrícolas; por ello, esta no puede ser considerada una competencia real de los agroquímicos debido a las diferencias tan grandes en cuanto a efectividad. Pero, ¿qué producto es mejor? ¿Por qué deberíamos elegir microorganismos y no agroquímicos?

AGROQUÍMICOS VS MICROORGANISMOS BENÉFICOS

Agroquímicos. La razón principal por la que los agricultores usan los agroquímicos es para cultivar frutas y verduras más grandes, con mayores rendimientos y a un menor costo. El aumento en rendimiento es debido a que los agroquímicos fertilizantes proveen a los cultivos de los nutrientes necesarios directamente en la tierra para que las plantas crezcan; los herbicidas matan las plantas innecesarias; y los pesticidas eliminan totalmente a los fitopatógenos. Otra ventaja del uso de agroquímicos es la efectividad en cuanto al costo, ya que los nutrientes químicos tienen un precio bajo en comparación con alternativas naturales.

Sin embargo, el impacto ambiental negativo es muy grande. El uso repetido de fertilizantes químicos causa degradación en la tierra, dejándola inutilizable para el crecimiento vegetal; genera una gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático global

y, en altas concentraciones, pueden ser altamente tóxicos para los seres humanos y animales.

Microorganismos. La aplicación de microorganismos benéficos en el suelo de cultivo permite minimizar el uso de agroquímicos, lo que brinda un impacto ambiental positivo. Los biofertilizantes mejoran la estructura del suelo y mantienen las condiciones adecuadas para el cultivo con una menor degradación de la tierra por pérdida de nutrientes. Los microorganismos mejoran la productividad de los cultivos y pueden utilizarse en cualquier tipo de suelo y cultivo.

La mayor ventaja del uso de microorganismos es ambiental, ya que el costo de los biofertilizantes es mucho mayor que el de un agroquímico y su productividad disminuye a corto plazo. Los biofertilizantes tienen condiciones específicas de aplicación y almacenamiento, ya que los microorganismos pueden morir si se exponen a temperaturas extremas o a condiciones ambientales desfavorables.

Las desventajas del uso de microorganismos benéficos radican en una mala formulación, por lo cual es importante buscar alternativas para mejorar la calidad y efectividad de los productos elaborados con base en microorganismos benéficos para que puedan competir de una manera más efectiva con los agroquímicos.

PERSPECTIVAS DE LOS BIOFERTILIZANTES

Como se mencionó en las secciones anteriores, la aplicación de microorganismos benéficos en el suelo agrícola puede ser una alternativa para aumentar la calidad y rendimiento de los cultivos sin utilizar agroquímicos contaminantes. No obstante, los resultados en el campo no han sido suficientemente exitosos para que los productores agrícolas adopten esta nueva tecnología. Actualmente, la formulación de los biofertilizantes es un problema crucial; sin embargo, se han realizado pocas investigaciones sobre este tema, por lo cual la investigación debe dirigirse a las propiedades de los microorganismos y a los componentes de la formulación.

Dichos componentes deben proporcionar condiciones óptimas para mejorar la vida de los microorganismos después de su aplicación en el suelo o en la planta.

Así, al mejorar la vida de los microorganismos se podrá aumentar la calidad y el rendimiento de los cultivos.

De igual manera, para que los agricultores adopten el uso de biofertilizantes, el producto debe ser económico y fácil de aplicar; también se debe asegurar que los microorganismos se suministren a la planta de la manera más apropiada.

La ciencia y tecnología de los biofertilizantes tienen el reto de proporcionar estudios sobre microorganismos benéficos aptos que generen un efecto positivo en el crecimiento y en la calidad de diferentes tipos de cultivos.

Además, se deben realizar propuestas de formulación para la protección de dichos microorganismos, mediante compuestos que no cambien las propiedades promotoras de crecimiento vegetal, sino que las potencien; lo anterior puede lograrse con estudios que permitan determinar la relación entre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los materiales con la supervivencia celular y las propiedades benéficas microbianas.

Además, es necesario hacer una evaluación del crecimiento y el rendimiento del cultivo después de aplicar los microorganismos benéficos, ya que la implementación de compuestos para proteger a los microorganismos altera la efectividad de los mismos. Las investigaciones actuales se han centrado en el desarrollo de formulaciones más confiables y consistentes.

Las bioformulaciones futuras tenderán a la incorporación de metabolitos microbianos junto con microorganismos y definitivamente tendrán múltiples funciones beneficiosas junto con una eficacia comprobable en la agricultura sostenible (Aamir *et al*., 2020).

Las tendencias futuras de los biofertilizantes van dirigidas al desarrollo de un ambiente microscópico, con condiciones que faciliten la reproducción, el crecimiento y las actividades funcionales de los microorganismos (Safari *et al*., 2020).

© Emilio Salceda. *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

Las condiciones adecuadas permitirán proporcionar productos eficientes, seguros, económicamente aceptables y fáciles de aplicar, que garanticen la salud y el crecimiento de las plantas y la aceptación por parte del consumidor.

Aún hay mucho trabajo por hacer para contrarrestar el daño que hemos generado (y que desafortunadamente se sigue generando) en el suelo, los bosques, el agua, la calidad del aire y la biodiversidad. Sin embargo, con la búsqueda de prácticas agrícolas alternativas, respetuosas con el medio ambiente, estamos avanzando hacia la solución de este problema. ¡Aún estamos a tiempo!

REFERENCIAS

FAO (2019). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2019. Protegerse frente a la desaceleración y el debilitamiento de la economía. En *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2019*.

FAO (2017). El estado mundial de la agricultura y alimentación. En *Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura*.

Herrmann L, Atieno M, Brau L and Lesueur D (2015). Microbial Quality of Commercial Inoculants to Increase BNF and Nutrient Use Efficiency. *Biological Nitrogen Fixation*, Chapter 101:1031-1040.

Malgioglio G, Rizzo GF, Nigro S, Lefebvre du Prey V, Herforth-Rahmé J, Catara V and Branca F (2022). Plant-Microbe Interaction in Sustainable Agriculture: The Factors That May Influence the Efficacy of PGPM Application. *Sustainability 14*(4):2253.

Safari M, Motamedi E, Kari Dolatabad H and Modarres Sanavy S (2020). Nano-carriers effects on the viability and efficiency of *Pseudomonas* strains as phosphate solubilizing bacteria. *Heliyon 6*(10):e05076.

Betsie Martínez Cano
Genaro Martín Soto Zarazúa
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
betsiemtz@gmail.com

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

www.elementos.buap.mx

¿Suelos en los árboles?

Elizabeth **Victoriano Romero**
Dulce María **Figueroa Castro**

Entre las distintas formas de vida que han desarrollado las plantas, se encuentran las llamadas epífitas. El término epífito proviene del griego, *epi* que significa arriba, y *phyton* que quiere decir planta, por lo que el término indica "arriba de otra planta".

Las plantas epífitas se caracterizan por pasar al menos una fase de su ciclo de vida sobre otra planta, denominada hospedera o forofito. Las epífitas se han adaptado a vivir en las condiciones hostiles del dosel (o copas de los árboles), tales como un sustrato poco estable e infértil, así como la falta de un suministro constante de agua y nutrientes.

Para enfrentar estas condiciones, han desarrollado adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permiten obtener agua y nutrientes, ya sea de la atmósfera o de la materia orgánica acumulada en las cavidades que se forman entre sus hojas.

Entre estas adaptaciones se encuentra el desarrollo de tejidos especializados (por ejemplo el velamen) y tricomas que favorecen la absorción de agua y nutrientes desde la atmósfera; el cierre de los estomas durante el día y el desarrollo de cutículas gruesas sobre la superficie de las hojas para disminuir la pérdida de agua; el crecimiento en forma de roseta, que favorece la captura de hojarasca y la adquisición de nutrientes, así como el desarrollo de estructuras especializadas (pseudobulbos) para el almacén de agua.

Figura 1. Carpetas de epífitas en un bosque de niebla. Variación en el tamaño y composición de especies que conforman las carpetas de epífitas sobre un mismo forofito, carpeta constituida por la bromelia *Tillandsia punctulata* y el anturio *Anthurium scandens*, carpeta de gran tamaño conformada por los helechos *Phlebodium areolatum* y *Polypodium* sp., así como las bromelias *Tillandsia kirchhoffiana* y *Tillandsia multicaulis*, carpeta conformada por la bromelia *Tillandsia kirchhoffiana* y el helecho *Phlebodium areolatum*.

Todas estas adaptaciones han permitido que las epífitas colonicen exitosamente el dosel; ejemplo de ello, es el gran número de especies con hábito epífito (≥ 50 %) en algunas familias de plantas.

Las plantas epífitas representan el 9 % de las especies de plantas vasculares del mundo. Diversas familias de plantas con semilla son epífitas, siendo las orquídeas, las bromelias y las aráceas las más representativas. Por otra parte, entre las plantas vasculares sin semilla, alrededor del 20 % de los helechos son epífitos. Estos últimos tienen diversas adaptaciones para vivir en el dosel. Por ejemplo, presencia de escamas foliares y suculencia en hojas y rizomas para el almacenaje de agua, así como la producción de numerosas raicillas, formando un sistema rastrero en red que les ha permitido dominar y colonizar exitosamente el dosel.

En algunas plantas epífitas (es decir, helechos y anturios) el sistema de raíces que presentan favorece la acumulación de materia orgánica. En otras, como las bromelias, la acumulación de materia orgánica se ve favorecida por su alta abundancia y distribución en parches.

En conjunto, estas características promueven la formación de lo que se conoce como suelos aéreos, suspendidos o histosoles, cuya característica principal es su alto contenido de materia orgánica y nutrientes.

IMPORTANCIA DE LOS SUELOS SUSPENDIDOS

Los suelos suspendidos o histosoles son producto de la acumulación de materia orgánica muerta en las raíces de las plantas epífitas (Figura 1). Tras la acumulación de partículas y la formación de suelos, es posible que varios individuos de una o distintas especies de epífitas coexistan compartiendo la rizosfera. A este conjunto discreto de epífitas se le conoce como "carpetas de epífitas" (Figura 1).

Estas carpetas están espacialmente separadas de otras y forman parches heterogéneos en el dosel. Además, en esa misma rizosfera en la que interactúan las raíces de las plantas epífitas y el suelo en formación, también se pueden establecer interacciones entre las raíces de las plantas epífitas y los microorganismos que habitan en el suelo. De esta manera, las carpetas de epífitas representan un microhábitat dentro de los ecosistemas en que se desarrollan.

Se han documentado carpetas de epífitas asociadas a suelos suspendidos en diferentes ecosistemas del mundo. No obstante, los países que concentran los mayores registros se encuentran en el continente americano (Colombia, Costa Rica, Ecuador, Estados Unidos y México). Los ambientes en los que más frecuentemente se encuentran las carpetas de epífitas y los suelos suspendidos son los bosques tropicales húmedos y montanos, siendo el bosque de niebla el ecosistema que tiene la mayor abundancia.

En los bosques de niebla, se ha estimado que las carpetas de epífitas, en conjunto con los suelos suspendidos, pueden llegar a constituir entre 0.5 kg y 44 toneladas por hectárea. Por tanto, se reconoce que los suelos suspendidos, y las carpetas de epífitas que se desarrollan en ellos, tienen un papel

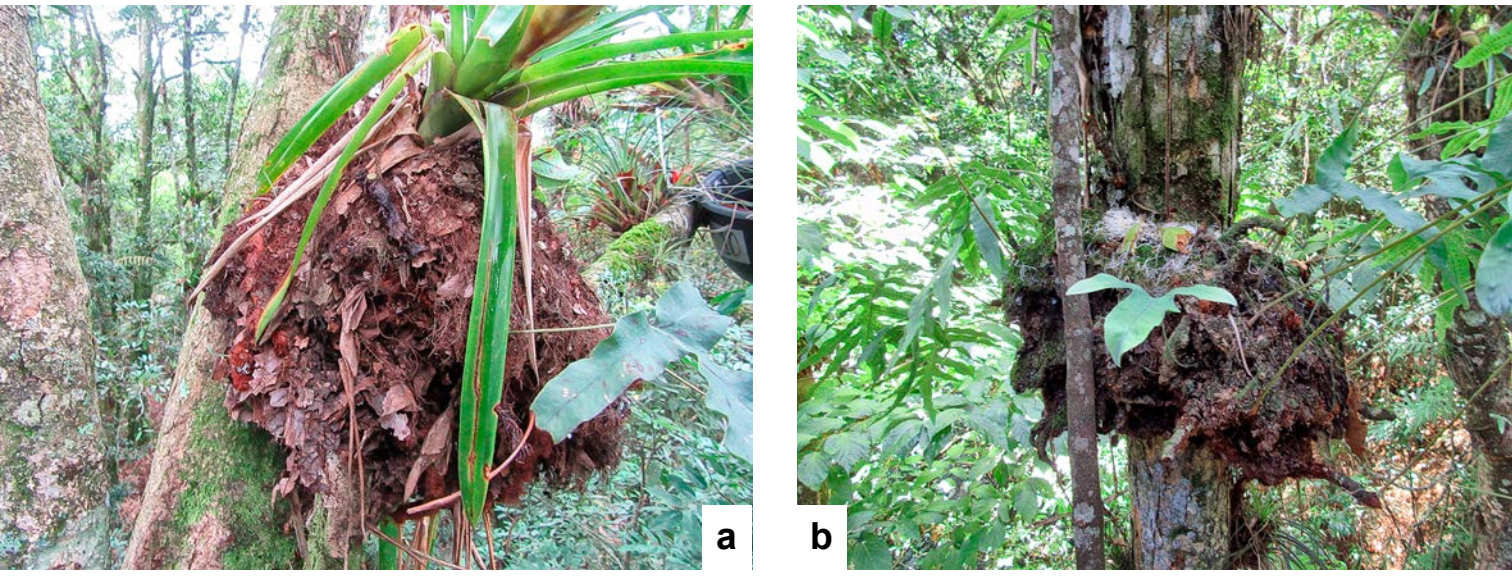


Figura 2. Carpetas de epífitas en un bosque de niebla. (a) Carpeta compuesta por la bromelia *Tillandsia multicaulis* y el helecho "humus" *Phlebodium areolatum* que favorece la formación de suelos suspendidos. (b) Carpeta conformada exclusivamente por la epífita "humus" *P. areolatum*, misma que tiene un papel primario en la retención del histosol.

funcional importante no solo en el dosel, sino en el ecosistema completo.

En las últimas décadas, se ha destacado la importancia funcional de los suelos aéreos como proveedores de nutrientes, tanto para las epífitas como para los árboles hospederos, e incluso para el propio suelo terrestre (Gotsch *et al*., 2006).

La reserva de nutrientes contenida en los suelos aéreos puede contribuir al ciclo de nutrientes del ecosistema en tres formas. Primero, a través de la reincorporación de nutrientes de las epífitas que perecen y caen al suelo del bosque. En segundo lugar, la materia orgánica que cae del dosel es retenida en las carpetas de epífitas (Figura 2a), donde también se lixivia, dando lugar a la formación de los suelos aéreos.

Finalmente, tras la descomposición de la materia orgánica, los nutrientes disponibles son absorbidos por las raíces apogeotrópicas (adventicias) que generan los árboles dentro de los suelos aéreos. La importancia de los suelos aéreos como proveedores de nutrientes del ecosistema es particularmente notoria en lo referente al contenido de nitrógeno y fósforo, dos nutrientes esenciales para el crecimiento y reproducción de las plantas. Al comparar la concentración de estos dos nutrientes entre suelos terrestres y suelos suspendidos se ha encontrado mayor contenido en estos últimos.

Sin embargo, la importancia de los suelos aéreos va más allá de la cantidad de nutrientes que contienen. Es probable que durante su formación, los suelos aéreos estén íntimamente relacionados con la ocurrencia de procesos sucesionales (cambios en la composición de especies a través del tiempo) de las comunidades de epífitas. La diversidad y abundancia de plantas epífitas asociadas a los suelos suspendidos en distintos momentos del proceso sucesional favorecen la retención de agua y proveen de alimento, refugio, así como sitios de anidación a diversos organismos, ya que representan un microhábitat único dentro de los ecosistemas. De esta manera, la formación de suelos suspendidos se relaciona positivamente con la diversidad de animales; y en el caso de los invertebrados, se ha registrado que los suelos suspendidos albergan una densidad similar a la que comprenden los suelos terrestres del bosque.

De acuerdo con esto, es evidente que los procesos ecológicos que ocurren en las carpetas de epífitas con suelo suspendido son cruciales para

el mantenimiento de la diversidad en los ecosistemas. Por lo tanto, es imprescindible entender los procesos ecológicos que ocurren en las carpetas de epífitas y los suelos suspendidos asociados a ellas.

Algunos aspectos clave son la identificación de las especies epífitas encargadas de retener los suelos suspendidos, la composición de la comunidad vegetal asociada a ellos y la importancia relativa de cada especie en la retención de suelo, así como la caracterización nutricional de los suelos.

LA FORMACIÓN DE SUELOS SUSPENDIDOS: UN PROCESO DINÁMICO

Se ha sugerido que las plantas epífitas fungen como ingenieros de los ecosistemas ya que modifican el ambiente, creando condiciones únicas para el establecimiento y mantenimiento de otras especies (Ortega-Solis *et al*., 2017). En las carpetas de epífitas con suelo suspendido asociado, las especies con mayor biomasa se denominan "epífitas de humus" (Figura 2b). Entre las denominadas especies humus se encuentran algunos helechos y bromelias. Ambos grupos tienen características particulares que favorecen la formación de los suelos suspendidos.

Algunos estudios han proporcionado evidencias sobre el papel de helechos y bromelias como epífitas humus en la formación de suelos suspendidos. En un bosque de secuoyas en California, Estados Unidos, se encontró que el helecho *Polypodium scouleri* era la principal epífita involucrada en la formación de suelos suspendidos de hasta 1 m de profundidad (Enloe *et al*, 2006).

Por su parte, en el bosque de niebla en Veracruz, México, se identificaron cuatro especies como componentes importantes de carpetas de epífitas y suelos suspendidos; tres bromelias del género *Tillandsia* y el helecho *Phlebodium areolatum* (Flores-Palacios y García-Franco, 2004; Victoriano-Romero *et al*, 2020). De acuerdo con Flores-Palacios y García-Franco, el sistema de rizomas rastreros largos, ramificados y suculentos del helecho forma una red de raíces subterráneas que participa en la retención de suelos suspendidos, por lo que podría ser considerada como epífita humus. Por su parte, aunque las bromelias del género *Tillandsia* tienen raíces poco desarrolladas, su abundancia sugiere que tienen un papel importante en la dinámica de las carpetas de epífitas con suelos suspendidos.

Se ha reconocido que los suelos suspendidos se forman a través de procesos dinámicos de las epífitas humus y no solo a partir de la acumulación pasiva de materia orgánica en las ramas (Victoriano-Romero *et al*., 2020). Dichos autores encontraron además que el contenido de nitrógeno y fósforo en los suelos suspendidos incrementaba conforme las carpetas de epífitas tenían mayor volumen de suelo. Por lo tanto, se reconoce que las especies de epífitas que conforman las carpetas y la importancia relativa de cada una en la formación de los suelos suspendidos y el contenido de nutrientes en ellos, puede variar a lo largo del tiempo.

Sin embargo, el conocimiento y la comprensión sobre el dinamismo presente en el proceso de formación de los suelos suspendidos son aún escasos.

CONCLUSIÓN

Los suelos suspendidos son frecuentes e importantes en ecosistemas húmedos como los bosques de niebla.

Un componente central de los suelos suspendidos son las epífitas "humus", que se desarrollan bien en ellos y que contribuyen a la acumulación de materia orgánica rica en nutrientes (histosoles). Las evidencias apuntan a que algunos helechos y bromelias fungen como ingenieros del ecosistema, ya que su establecimiento favorece la formación de suelos suspendidos.

Sin embargo, los prcesos sucesionales y la dinámica de las comunidades de epífitas que se establecen en ellos son poco conocidos.

A pesar de la importancia que tienen los suelos suspendidos para las epífitas, sus árboles hospederos e incluso la fauna del dosel, aún quedan

© Emilio Salceda. *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

muchas interrogantes por contestar, por ejemplo ¿cuánto tiempo tardan en formarse?, ¿qué interacciones ocurren en las carpetas con suelos suspendidos?, entre otras.

REFERENCIAS

Enloe HA, Graham RC and Sillett SC (2006). Arboreal histosols in old-growth redwood forest canopies, Northern California. *Soil Science Society of America Journal* 70:408-418.

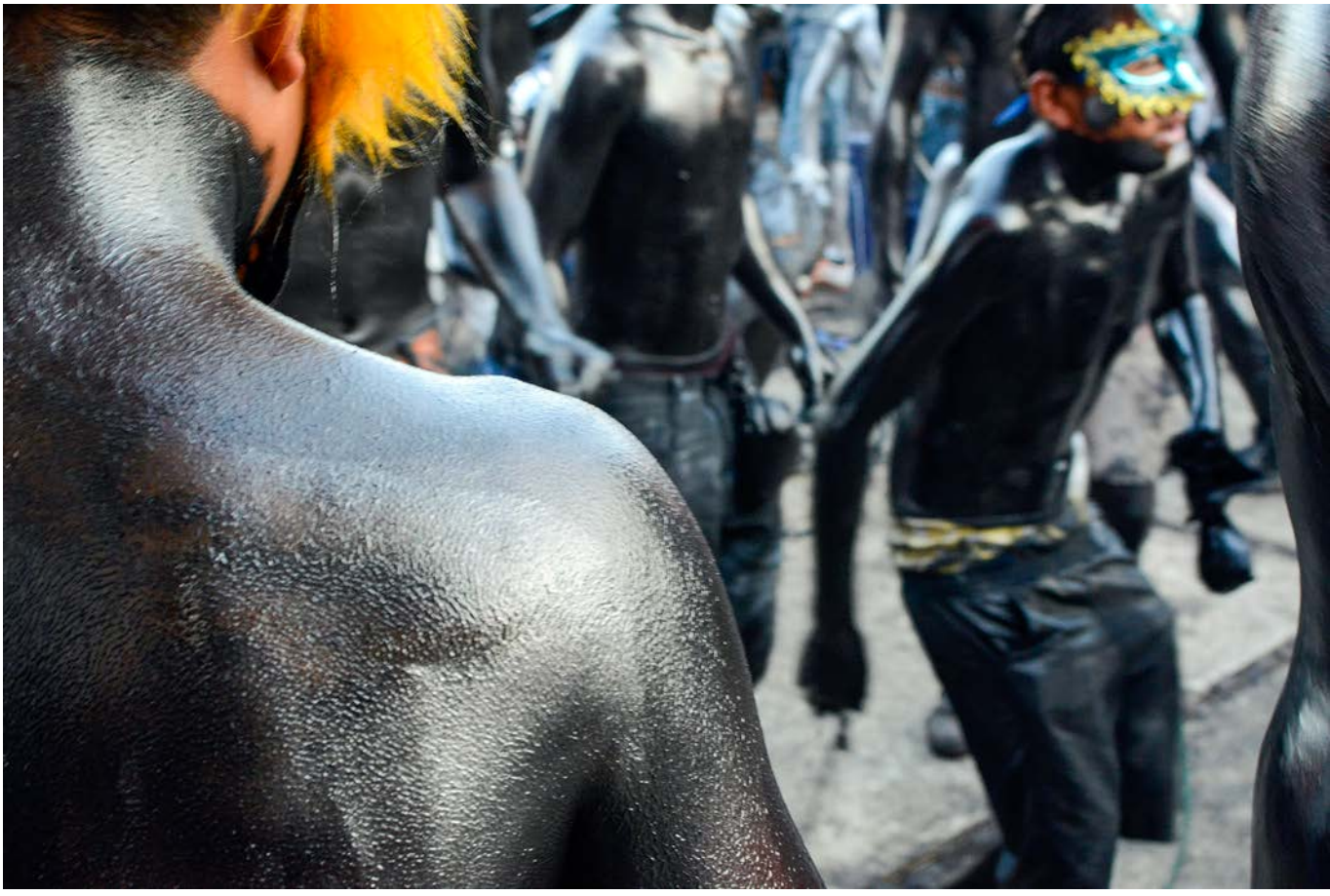
Flores-Palacios A and García-Franco JG (2004). Effect of isolation on the structure and nutrient budget of oak epiphyte communities. *Plant Ecology* 173:259-269.

Gotsch SG, Nadkarni NM y Amici AA (2016). The functional roles of epiphytes and arboreal soils in tropical montane cloud forests. *Journal of Tropical Ecology* 32:455-468.

Ortega-Solís G, Díaz I, Mellado-Mansilla D, Tello F, Moreno R and Tejo C (2017). Ecosystem engineering by *Fascicularia bicolor* in the canopy of the South-American temperate rainforest. *Forest Ecology and Management* 400:417-428.

Victoriano-Romero E, García-Franco JG, Mehltreter K, Valencia-Díaz S, Toledo-Hernández VH and Flores-Palacios A (2020). Epiphyte associations and canopy soil volume: nutrient capital and factors influencing soil retention in the canopy. *Plant Biology* 22:541-552.

Elizabeth Victoriano Romero
Dulce María Figueroa Castro
Laboratorio de Interacciones Ecológicas
Facultad de Ciencias Biológicas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)
figgery@gmail.com



© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

www.elementos.buap.mx

Las microalgas como fuente de vacunas

Jorge A. **Vera-Ramírez**
Dulce L. **Ambriz-Pérez**
David U. **Santos-Ballardo**

A lo largo de la historia de la humanidad, el desarrollo de la biotecnología ha jugado un papel importante para alcanzar el estilo de vida que conocemos y el progreso de la sociedad actual (Figura 1).

En los últimos años, hablando específicamente acerca de biotecnología ambiental, el uso de microalgas como fuente de bioproductos ha generado interés social y científico debido a las ventajas que ofrecen, ya que son organismos unicelulares con tamaños que van de 2 μm a 200 μm aproximadamente, tienen un rápido crecimiento y una gran capacidad para la fijación del dióxido de carbono (CO_2) ambiental; además, a diferencia de las plantas, no necesitan tierras fértiles para crecer, se pueden conseguir altos rendimientos de biomasa en pequeñas áreas de trabajo, y presentan una alta capacidad de adaptación a diferentes entornos (como agua marina, dulce e incluso aguas residuales, produciendo a la vez biorremediación).

Estas características han generado interés en analizar el potencial de algunas especies para su utilización a gran escala bajo un esquema de biorrefinería, lo que a futuro permitiría un aprovechamiento integral y más sustentable de la biomasa.

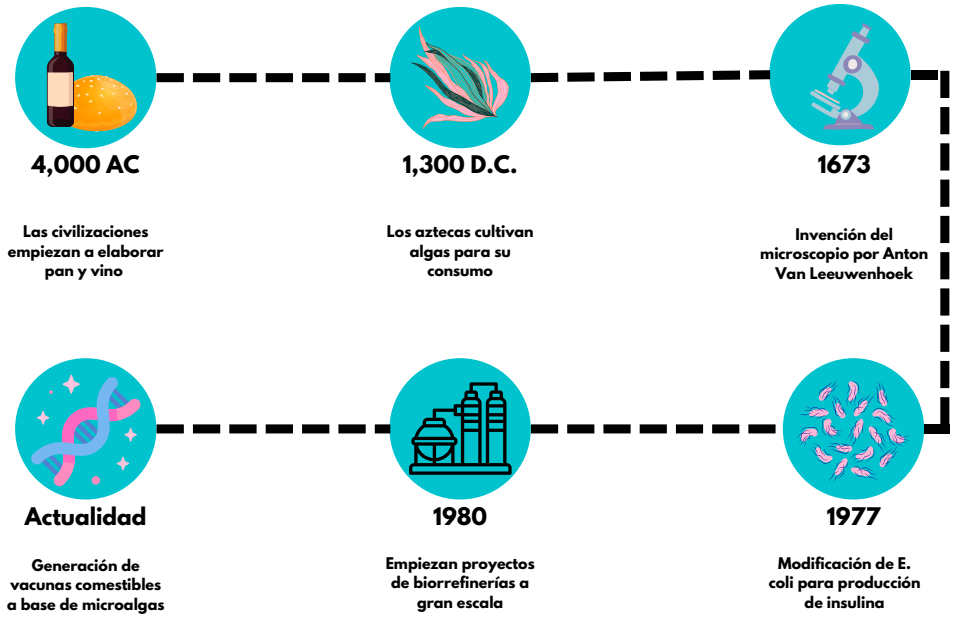


Figura 1. Mapa cronológico breve de la biotecnología.

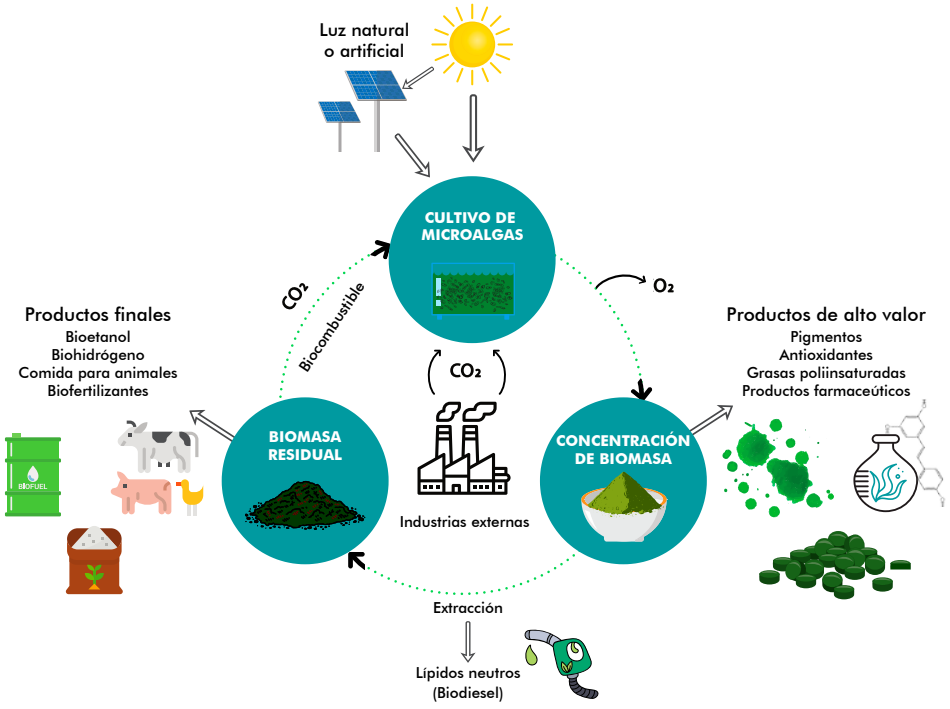


Figura 2. Proceso básico de una biorrefinería microalgal.

BIORREFINERÍAS: UNA PROMESA SUSTENTABLE

El objetivo de las biorrefinerías es obtener la mayor cantidad de productos a partir de una materia prima por medio de procesos y tratamientos que transformen a sus componentes sin afectar sus propiedades en el proceso. El proceso de las biorrefinerías microalgales (Figura 2) usualmente inicia con el desarrollo de cultivos celulares, donde, mediante ciertos nutrientes y agua estéril (dulce, marina o residual), así como condiciones controladas de temperatura e iluminación, se genera biomasa.

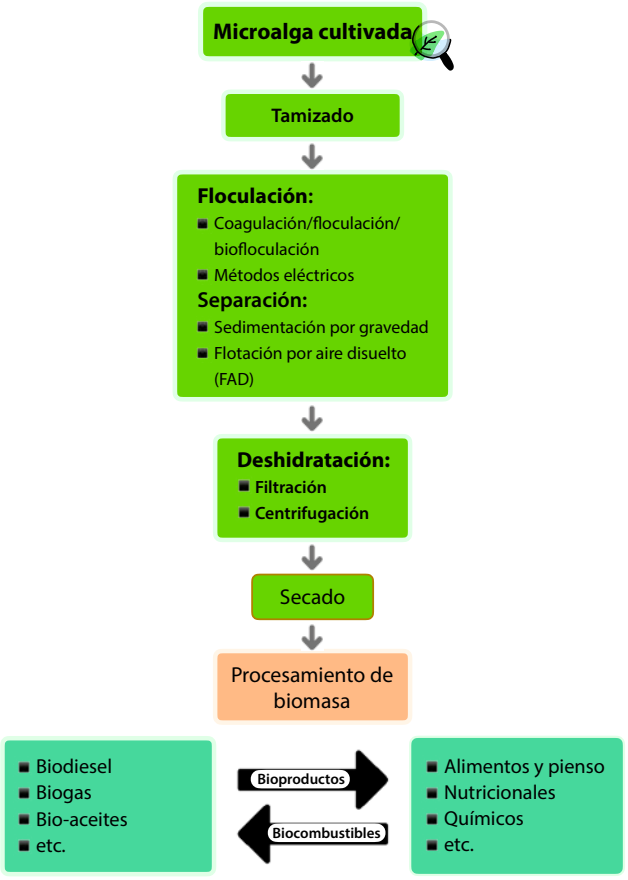


Figura 3. Diagrama de flujo de una planta de biorrefinería (adaptado de Herrador, 2016).

A partir de esta, se utilizan diferentes procesos para obtener algunos bioproductos de alto valor y biocombustibles; estos últimos, aunque presentan un costo económico bajo, se pueden utilizar para disminuir los requerimientos energéticos de la biorrefinería, utilizando esta energía en los diversos pasos en el cultivo de las microalgas. El diseño de una biorrefinería dependerá del tipo de microalga que se desee explotar, los bioproductos que se deseen obtener, así como de la densidad, concentración y compuestos que se encuentren en los cultivos.

Una vez que se genera suficiente biomasa, se procede a colectar la biomasa microalgal con el objetivo de aglomerar las microalgas y separarlas del medio de cultivo. El siguiente paso es la sedimentación de la biomasa para separar los componentes dependiendo de sus densidades o, alternativamente, la centrifugación para separar directamente la biomasa del medio de cultivo. También se puede utilizar secado por diferentes técnicas, como aplicación de calor, radiación solar y aire e incluso un proceso de liofilización (deshidratación con alta presión y a bajas temperaturas).

Una vez que se tiene la biomasa de microalgas seca y lista para su uso, los procesos para su transformación dependen de la composición de la biomasa; por ejemplo, si presenta alto contenido de aceite, este se puede extraer ya sea para usarlo como ingrediente alimentario o como materia prima para biodiesel; mientras que, a partir de la biomasa residual (BR), se pueden obtener pigmentos, compuestos con propiedades benéficas para la salud (antioxidantes y otros nutracéuticos) o utilizarse para producción de biogás. Cada biorrefinería requiere un diseño único dependiendo de las condiciones y propiedades de la microalga utilizada, el presupuesto y la calidad del producto que se desea vender (Figura 3).

Como se ha mencionado, las posibilidades de las biorrefinerías microalgales son amplias, lo que ha ocasionado que muchas empresas y centros de investigación se dediquen a desarrollar esquemas de estas para obtener productos de alto valor económico. Dentro de las diversas opciones, la generación de productos para la salud tiene gran impacto a nivel mundial, destacando la obtención de compuestos con propiedades antioxidantes, antinflamatorias y antienvejecimiento, así como mallas filtradoras para respiradores e, incluso, el desarrollo de vacunas comestibles que representan una gran posibilidad para hacer llegar estos productos de salud a un mayor número de personas.

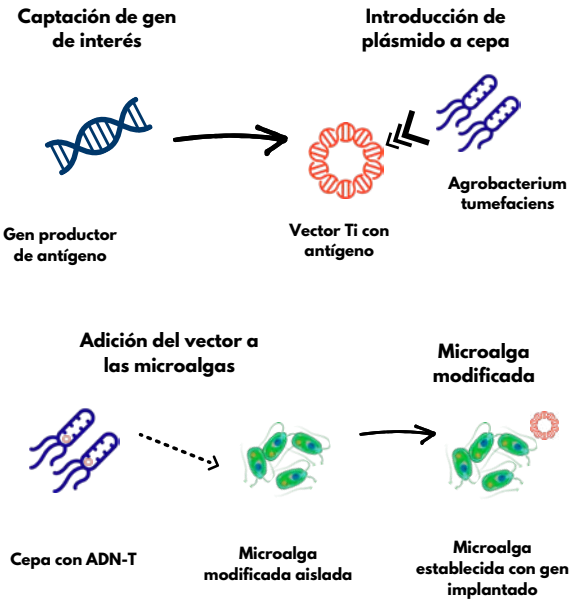


Figura 4. Mecanismo de obtención de vacunas comestibles a partir de microalgas modificadas genéticamente (adaptado de Specht and Mayfield, 2014).

¿MICROALGAS Y VACUNAS? UNA OPCIÓN PROMETEDORA

Desde el siglo XIX, las vacunas han sido uno de los principales métodos de defensa de la humanidad en la lucha contra bacterias, parásitos, virus y otros agentes patógenos; las vacunas actúan apoyando al sistema inmune con antígenos (compuestos ajenos al organismo que se unen a las inmunoglobulinas para crear una respuesta inmune) para contrarrestar las enfermedades; sin embargo, las vacunas convencionales tienen limitaciones tales como la contaminación de la vacuna con patógenos externos, la necesidad de entrenamiento de personal calificado para administrarla, además de que su almacenamiento y transporte comúnmente requieren de condiciones especiales a bajas temperaturas; y por supuesto, tienen un alto costo de producción. Debido a lo anterior, el suministro de estas vacunas es costoso y complicado, sobre todo en algunos países en vías de desarrollo.

Para buscar solucionar estos problemas, se ha propuesto el desarrollo de nuevas alternativas, como las vacunas comestibles basadas en plantas genéticamente modificadas. Prácticamente todos los patógenos humanos utilizan las superficies mucosas (a través de los tractos urogenitales, respiratorios y gastrointestinales) como principal ruta de entrada al cuerpo, por lo que la primera línea de defensa es la inmunidad de dichas mucosas. Cabe mencionar que las vacunas orales son capaces de producir inmunidad en las mucosas, ya sea por anticuerpos o incluso por medios celulares, así que el uso de este tipo de vacunas se consideraría una opción eficiente. Por otro lado, las células vegetales que contienen antígenos no son hidrolizadas por las enzimas gástricas, esto debido a que su pared celular es sumamente resistente.

Las plantas transgénicas que funcionan como vacunas actúan mediante el proceso de bioencapsulación; por ejemplo, los antígenos permanecen dentro la pared celular, la cual es hidrolizada finalmente en los intestinos, lo que los libera y permite que sean absorbidos por las células M, –ubicadas en el revestimiento intestinal– y estas se insertan en los tejidos linfoides asociados al intestino. Dichos compuestos se transmiten más adelante a macrófagos y células B (que quedan activas para neutralizar al antígeno); los macrófagos despliegan piezas del antígeno a los linfocitos CD4+, que estimulan a las células B para reconocer antígenos en sitios distantes.

Estas vacunas comestibles tienen ventajas con respecto a las convencionales, entre ellas: 1) una vez desarrolladas, los costos de procesamiento son

más baratos; 2) la pared celular vegetal provee una excelente protección al antígeno contra el medio ambiente y las condiciones intestinales, por lo que no es necesario un traslado y manejo especiales; 3) la contaminación por virus o bacterias externas es prácticamente imposible, ya que los patógenos que afectan a los seres humanos no son compatibles con las células vegetales; 4) no es necesario personal especializado para administrarla.

Existen diversas especies vegetales usadas para este propósito, como la papa y el tomate, entre otros; sin embargo, las microalgas (aunque no son plantas) han ganado atención como medios muy adecuados para la creación de este tipo de vacunas, principalmente debido a que al compartir algunas propiedades celulares con las plantas, son candidatas para transformaciones genéticas (con alta estabilidad genética debido a su sencillez celular), que permitan la inserción de antígenos para la salud (Figura 4), además de sus características que permiten una producción a gran escala, en tiempos cortos, espacios reducidos y sin el uso de agua y suelos que pudieran utilizarse para producción de alimentos.

Por otro lado, desde la perspectiva regulatoria, las microalgas como *C. reinhardtii* son consideradas productos seguros (GRAS) por la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos). También se ha demostrado que su preservación en condiciones de liofilización puede llegar hasta los 20 meses a temperatura ambiente.

Hoy en día existen varias vacunas desarrolladas en microalgas que se encuentran en fase de pruebas clínicas; la especie más utilizada para producirlas es *Chlamydomonas reinhardtii*, ya que presenta rápido crecimiento y una pared celular que le confiere resistencia natural; se han reportado eficiencias de obtención de hasta 60 % de antígeno en la biomasa seca.

También es importante destacar que, aunque las vacunas microalgales se utilizan principalmente para acuicultura, empresas como TransAlgae® y algunas instituciones internacionales están generando inversiones e investigaciones para el desarrollo de este tipo de vacunas para distintas enfermedades en humanos. Por ejemplo, destaca un estudio del año 2013, desarrollado en Francia, en el cual se utilizó como medio a *Chlamydomonas reinhardtii* para el tratamiento de la malaria. A raíz de este trabajo se demostró que este tipo de vacunas tiene altas probabilidades de ser funcional, ya que

> [...] su producción proporciona un sistema ideal para la creación de antígenos y tiene una versatilidad de volumen que va desde mililitros hasta 500,000 litros.

En este estudio, se usaron dos diferentes métodos para introducir el genoma necesario para crear la vacuna, enfocándose para ello en el uso de los cloroplastos; los investigadores comentaron que

> [...] en el caso de *Chlamydomonas reinhardtii*, el cloroplasto representa el compartimento celular más grande y, dado que está hecho de varias copias de un cromosoma, conduce a la producción de niveles más altos del antígeno en este organelo.

Por otro lado, en Suiza se han realizado estudios con el objetivo de desarrollar una vacuna oral a base de microalgas contra *Staphylococcus aureus,* patógeno que afecta a una gran cantidad de personas en el mundo. Recientemente se desarrolló una vacuna microalgal comestible en contra de la enfermedad del SARS-COV 2, que es pionera en este campo.

Si bien la producción de vacunas a gran escala de microalgas está empezando, tiene un gran potencial, ya que no solo permite su producción de manera sustentable (mediante el uso de las biorrefinerías), sino que, además, da un paso en el progreso de la humanidad para que todas las personas puedan conseguir una mejor calidad de vida por medio de las vacunas. Cabe mencionar que esta tecnología es un trabajo en progreso cuyas principales dificultades son bajos niveles de

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

expresión del genoma, ausencia de algunos procesos celulares después de la expresión genética en cloroplastos, así como la contaminación de los cultivos en los reactores.

Finalmente, la pandemia del SARS-COV 2 nos mostró que es necesario generar más planes de defensa para la prevención, por lo que, en un futuro, el desarrollo de vacunas comestibles basadas en microalgas es una opción prometedora para contribuir a resolver este tipo de enfermedades pandémicas.

BIBLIOGRAFÍA

Specht EA and Mayfield SP (2014). Algae-based oral recomninant vaccines. *Frontiers in Microbiology* 1-7.

Bajpai R, Prokop A and Zappi M (2014). Algal biorefineries. Londres: Springer.

Benedetti M, Vecchi V, Barera S and Dall´Osto L (2018). Biomass from microalgae: the potential of domestication towards sustainable biofactories. BMC1-18.

Gunasekaran B, & Gothandam K. (2020). A review on edible vaccines and their prospects. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 1-10.

Jimenez EM and Castillo CA (2021). Microalgal biomass with high potential for the biofuels production. *Scienta Agropecuaria* 265-282.

Mishra N, Gupta NP, Khatri K, Goyal KA and Vyas PS (2008). Edible vaccines: A new approach to oral immunization. *Indian Journal of Biotechnology* 283-294.

Pérez BS, Mendoza MA, Castañeda CM and Aguilera VL (2019). Bioenergía a partir de microalgas en México. *Revista de Energías Renovables* 23-34.

Vanthoor KM, H Wijffels RJ Barbosa M and Eppink MHM (2013). Biorefinery of microalgae for food and fuel (p. 142-149). Elsevier.

Zhu L, Hou S and Qin L (2014). Microalgae-Based biodiesel refinery: Sustainabilitý concerns and challenges. *International Journal of Green Energy* 1-30.

Jorge A. Vera-Ramirez
Ingeniería en Biotecnología
Universidad Veracruzana

Dulce L. Ambriz-Pérez
David U. Santos-Ballardo
Ingeniería en Energía
Maestría en Ciencias Aplicadas
Universidad Politécnica de Sinaloa
dsantos@upsin.edu.mx

www.elementos.buap.mx

Procesos de elaboración de tabiques y su impacto en el medio ambiente

Alfonso **Cruz Palma**
Ivonne Areli **Torres López**
Sergio **Zamora**

En la construcción, incluido el sector de la construcción de viviendas, se generan numerosos problemas ambientales; en este rubro, en el 2015, la producción de ladrillos de arcilla cocida o tabique artesanal se realizó desde aproximadamente 17,000 ladrilleras en todo el país, muchas de las cuales se encuentran en la informalidad, con una tecnología rudimentaria y ofreciendo un producto que difiere regionalmente en cuanto a dimensiones y apariencia.

La producción de dichas piezas se lleva a cabo en hornos rudimentarios de baja eficiencia, con el uso de materiales de fácil acceso como son las biomasas, residuos y combustóleos (CIATEC, 2015).

La fabricación de piezas de mampostería cocidas de forma artesanal se ha convertido en un problema ecológico debido a que un alto consumo de combustible genera poca producción, y al hecho de que, de los combustibles, el carbono negro es el mayor contaminante producido por la industria ladrillera; las quemas abiertas de la industria productora de tabique en Latinoamérica presentan el porcentaje más significativo de emisiones de carbono negro con un 70 % del total de emisiones (CCAC, 2016).

Figura 1. Horno artesanal usado para la producción de tabiques en la zona de Medellín de Bravo. Elaboración propia.

SITUACIÓN EN MÉXICO

En México se ha iniciado un proceso de adecuación en las tecnologías de la industria ladrillera, sector que debido a su baja tecnificación presenta una eficiencia energética baja, esto es, se produce poco (en hornos abiertos) con un alto consumo de combustible (CCAC, 2016).

En la zona conurbada de Veracruz la producción de piezas de mampostería se encuentra en la localidad de Medellín de Bravo, donde la producción depende del uso de hornos artesanales, como se puede observar en la Figura 1. Numerosos estudios realizados con productores de dicha zona muestran que los tabiques no cumplen con la normativa vigente. La norma oficial NMX-C-036-ONNCCE-2013 especifica una resistencia de diseño promedio a la compresión mínima de 60 kg/cm^2 en tabique macizo de arcilla artesanal (ONNCCE, 2012), mientras que, en la zona, las resistencias poseen un rango de 10.79 kg/cm^2 a 19.77 kg/cm^2 documentado por Moreno Vázquez (2013); esto representa un déficit de resistencia aproximada a 1/3 de la especificada por la norma; la NMX-C-037-ONNCCE-2013 especifica un valor máximo de volumen de agua absorbida, referido al volumen aparente del espécimen en 24 horas, de 23 % para tabique macizo arcilla artesanal (ONNCCE, 2012), mientras que en la zona dicho valor es de 15.99 % (Moreno Vázquez, 2013), cifra muy por debajo de la especificada en la norma, lo que provoca problemas de humedad en muros y, en consecuencia, afecta a los demás elementos estructurales de las edificaciones. La NMX-C-404-ONNCCE-2012 acepta dimensiones mínimas de 19 cm de largo, 10 cm de ancho y 5 cm de altura aplicada a tabiques para uso estructural (ONNCCE, 2012).

En algunas tabiqueras de la zona los tabiques se ven alterados por el clima, en temporada de lluvias por cuestiones relacionadas con el secado y horneado de las piezas, lo cual involucra el uso de agregados no óptimos para las piezas de mampostería; un ejemplo de ello es el uso de la ceniza para obtener un secado más rápido de las piezas que conlleva a un deterioro en la calidad y en la resistencia de las piezas de mampostería. Así pues, las variables que surgen en los hornos no brindan la certeza de tener un producto de buena calidad, a pesar del uso de agregados óptimos para su fabricación (Cruz Palma y Sánchez Antemate, 2020).

La normativa de la tierra como material de construcción es muy dispersa, lo que conlleva problemas legales y técnicos para su uso; sin embargo, países como Brasil, Colombia, Estados Unidos, Perú, España, Francia, India, Kenia, Sri Lanka, Túnez y Zimbabue han incluido a la tierra cruda en un marco legal para la construcción; desde 1979, en el caso de Perú (Cid *et al*., 2011). A partir del año 2015, en México los bloques de tierra comprimida son normados por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE) con la norma NMX-C-508-ONNCCE-2015, cuyo objetivo es establecer las especificaciones y métodos de ensayo de los bloques. No obstante, el estabilizante base especificado en la norma es la cal, y opcionalmente estabilizantes naturales (ONNCCE, 2015).

ALTERNATIVA DE TABIQUE SUSTENTABLE

En vista de la problemática mencionada, se han implementado alternativas más amigables con el ambiente y se ha optado por el uso de bloques sin cocer (Kinuthia, 2015), incluyendo los bloques de tierra comprimida. Un bloque de tierra comprimida se define como una pieza estructural, generalmente

prismática, obtenida por compresión estática o dinámica de tierra húmeda y sus componentes para estabilizarla, seguida de un posterior desmolde (ONNCCE, 2015). La producción e implementación de dichas piezas proporciona una opción ecológica para la industria de la construcción al eliminar la problemática ambiental causada por la cocción de las piezas de mampostería tradicionales.

Se han realizado pruebas térmicas simulando los efectos del sol en muros elaborados con bloques de tierra comprimida, ladrillo de barro cocido y block de concreto, gracias a las cuales se han obtenido mejoras en la sensación de confort térmico dentro de las viviendas elaboradas con bloques de tierra comprimida; es así como, ante una fuente de calor, una vivienda construida con este material presentará una menor temperatura tanto en el interior como en el exterior en comparación con viviendas edificadas con otros de los materiales ya mencionados (Roux Gutiérrez, 2017).

Dicha alternativa, al ser una idea sustentable, amigable con el medio ambiente en cuanto a materiales para su elaboración, innovadora en el sector de la construcción de viviendas, ecológica en cuanto a su proceso de fabricación, ya que no libera agentes tóxicos al exterior, y de producción económica, está presente en los Objetivos del Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (Organización de las Naciones Unidas, 2020).

TIPOS DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)

Actualmente es posible fabricar los siguientes tipos de BTC:

BTC accesorio: pieza cuya forma externa o interna es diferente a la del bloque ordinario; utilizada para la ejecución de encuentros particulares de albañilería con un máximo de 15 % de huecos (ONNCCE, 2015).

BTC con figura diseño para el ensamble: pieza con entrantes y salientes en la cara que embonan con los bloques adyacentes; este diseño mejora la resistencia a cortante del muro, diseñado para que la transmisión de esfuerzos se realice en seco (ONNCCE, 2015).

Figura 2. Bloques de tierra comprimida macizos.

BTC con huecos: pieza con un porcentaje de huecos igual o menor al 10 % del área de la cara de apoyo (ONNCCE, 2015).

BTC macizo: pieza sin ningún tipo de huecos (ONNCCE, 2015). En la Figura 2 se puede observar una pieza de BTC macizo.

CONCLUSIONES

Se propone la alternativa del bloque de tierra comprimida para sustituir la elaboración y uso del tabique de horno de mampostería, esto con la intención de reducir el daño ambiental que ocasiona el carbono negro emitido por el proceso tradicional de horneado. Esta alternativa beneficiaría principalmente a las comunidades de los alrededores de los hornos, ya que al hacer uso de esta idea sustentable se puede reducir la probabilidad de daños a la salud y al ambiente en el que habitan. La técnica propuesta implica usar materiales sustentables como son la tierra húmeda y componentes no tóxicos para la elaboración de la mezcla que será posteriormente prensada. A los materiales resultantes se les han realizado pruebas comparables con las hechas a los tabiques tradicionales que se han usado por años en las construcciones. Las ventajas de las piezas realizadas con esta técnica alternativa son, entre otras, que no se requiere cocción y que ofrecen una mayor estabilidad térmica en comparación con el

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

tabique. Actualmente, la Universidad Veracruzana realiza investigaciones para poder hacer una mejor comparación al evaluar su nivel de dureza, su tiempo de vida útil y su comportamiento ante sismos.

REFERENCIAS

CCAC (marzo de 2016). Manual de capacitación sector ladrillero en América Latina. Perú. Recuperado de: http://www.redladrilleras.net/apps/manual_ccac/index.html.

CIATEC (2015). Análisis de mercado del sector de la construcción y proyecto piloto a nivel región. D.F: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Cid J, Mazarrón FR y Cañas I (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la Construcción*, 63 (523), 159-169. doi: https://doi.org/10.3989/ic.10.011.

Cruz Palma A y Sánchez Antemate MP (2020). Elaboración, evaluación y comparación de propiedades artesanales de arcilla recocida con agregado de cal hidratada. (Tesis de licenciatura). Universidad Veracruzana, Boca del Río, Veracruz, México.

Kinuthia J (2015). The durability of compressed earth-based masonry blocks. Eco-Efficient Masonry Bricks and Blocks, 393-421. doi: https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-305-8.00018-8.

Moreno Vázquez O (2013). Determinación de las propiedades técnicas para diseño de muros de mampostería con piezas de la localidad de la Joya, Mpio. de Medellín de Bravo, Veracruz. (Tesis de licenciatura). Universidad Veracruzana, Boca del Río, Veracruz, México.

ONNCCE (2012). Industria de la Construcción-Mampostería-Bloques, Tabiques O ladrillos y Tabicones para uso Estructural-Especificaciones y Métodos de Ensayo (NMX-C-404-ONNCCE). Ciudad de México, México: ONNCCE.

ONNCCE (2015). Industria de la Construcción - Bloques de Tierra Comprimida Estabilizados con Cal - Especificaciones y Métodos de Ensayo. Ciudad de México, México: ONNCCE.

Organización de las Naciones Unidas (2020). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/.

Roux Gutiérrez RS (2017). Construcción sustentable, análisis de retraso térmico a bloques de tierra comprimidos. *Contexto*. *Revista de la Facultad de Arquitectura Universidad Autónoma de Nuevo León*, 9(11). Recuperado de: http://contexto.uanl.mx/index.php/contexto/article/view/49.

Alfonso Cruz Palma
Ivonne Areli Torres López
Sergio Zamora
Departamento de Posgrado
Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat
Universidad Veracruzana
zamora@uv.mx

El consumo de granada roja:
una forma de combatir el estrés oxidativo y la inflamación en enfermedades cardiometabólicas

Angélica Saraí **Jiménez-Osorio**
José **Arias Rico**
Diego **Estrada-Luna**

La granada (*Punica granatum L.*) es una frutiscencia que pertenece a la familia de las punicáceas, que comprende dos especies: *Punica granatum* (proveniente de gran parte del Mediterráneo) y *Punica protopunica* (endógena de las islas Socotra en la Península Arábiga).

Su cultivo y amplio consumo ocurre en parte de Asia y de Europa y se remonta hasta el año 3,000 a. n. e., época en que era símbolo de fertilidad y abundancia. Las partes comestibles de la granada son consumidas en fresco o usadas para la preparación de jugo, aunque también ha sido utilizada como medicina tradicional en diversas culturas a través de los siglos.

Su composición nutricional abarca desde ácidos orgánicos, componentes bioactivos como polifenoles, antocianinas, elagitaninos, flavonoides y vitamina C, entre otros.

La granada roja puede ser considerada un alimento funcional por el valor nutricional y bioquímico que tiene cada uno de sus componentes y que han mostrado tener efectos terapéuticos y funcionales como antitumorales,

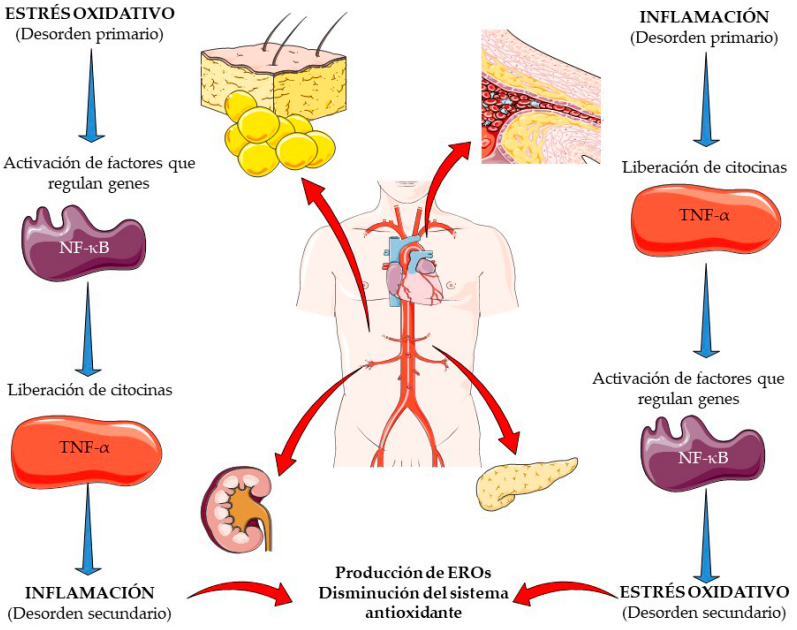


Figura 1. Relación del estrés oxidativo y la inflamación en el desarrollo de enfermedades crónicas degenerativas. El estrés oxidativo o la inflamación como desórdenes primarios tienen un aumento de la expresión y liberación de citocinas y quimiocinas, así como de algunos factores de transcripción (factores que regulan genes), que participan en el desarrollo o atenuación de síntomas de enfermedades como la diabetes, síndrome metabólico, ateroesclerosis, infarto agudo al miocardio y enfermedades renales; también desencadenan la desregulación del metabolismo de lípidos, incrementando los niveles séricos de triglicéridos, colesterol, colesterol LDL y disminuyendo el colesterol HDL y otros factores de riesgo de desarrollar enfermedades concomitantes.

antiinflamatorios, antidiabéticos, antivirales, antihepatotóxicos y cardioprotectores (Wu y Tian, 2017).

USO DE LA GRANADA ROJA EN LA MEDICINA TRADICIONAL

En las últimas décadas se ha incrementado el interés por parte de la comunidad científica internacional en estudiar el fruto de la granada roja como un alimento funcional; es decir, que sea capaz de proveer un efecto benéfico a la salud humana. Sin embargo, su consumo ya era utilizado como una alternativa terapéutica desde los tiempos de la cultura persa, cuando el consumo de jugo de granada (JG) era la primera opción para curar a las personas que padecían hemorroides, diarrea, dolor de garganta, parasitosis y disenterías; con el paso del tiempo, algunas sociedades la adoptaron para tratar padecimientos como diabetes, epistaxis, comezón vaginal y como tónico para el corazón.

También han sido utilizadas otras partes del fruto, específicamente la corteza, como vermífugo y desinflamatorio en afecciones dentales (gingivitis) e infecciones de la garganta. En la actualidad, su consumo y estudio se ha enfocado en condiciones como la obesidad, la diabetes, enfermedades cardiovasculares, condiciones renales y síndrome metabólico (Figura 1); estas enfermedades tienen como común denominador la presencia de procesos inflamatorios y el estrés oxidativo (EO) como factores etiopatológicos (Rosenblat *et al.,* 2016; Banihaní *et al.*, 2020; Barati Boldaji *et al*., 2020).

ESTRÉS OXIDATIVO Y ENFERMEDAD

El estudio de la granada se ha enfocado en las propiedades de sus componentes, como son el jugo fresco, los arilos, la corteza y las semillas; así como de sus diferentes elementos con actividad antioxidante, como flavonoides, taninos hidrolizables, elagitaninos, ácido elágico y ácidos grasos poliinsaturados como el ácido punícico; se ha resaltado que su capacidad antioxidante es tres veces más alta que las del vino tinto, el zumo de uva, el arándano, la toronja, la naranja y el té verde (Wu y Tian, 2017).

Diversos procesos fisiológicos que se ejecutan a diario, como la respiración, la digestión de alimentos, la radiación, el metabolismo de fármacos y alcohol o la inhalación del humo de tabaco, etc., producen moléculas altamente reactivas denominadas especies reactivas de oxígeno (ERO), dentro de las que se encuentran los radicales libres (RL),

los cuales son neutralizados por compuestos denominados antioxidantes.

Muchos procesos a nivel celular producen ERO y RL, por ejemplo, la obtención de energía celular en las mitocondrias, el mantenimiento de la membrana celular, los mecanismos inmunológicos de eliminación de patógenos, funciones vasculares y las vías de señalización para la regulación del crecimiento de la célula y su muerte programada (apoptosis).

Sin embargo, se ha observado que, bajo condiciones patológicas, se favorece la producción de ERO, disminuye la capacidad de los antioxidantes para neutralizarlas, o por acción de ambas situaciones, se origina un estado de estrés oxidativo, tal como lo definió el científico Helmut Sies: "es el desbalance entre el sistema antioxidante y agentes oxidantes cuando el organismo está expuesto a estímulos adversos" (Sies, 2020).

Debido a la importancia que tiene la presencia de EO, se ha considerado que su conceptualización pueda separarse en dos términos: eustrés oxidativo o, como se le conoce, "estrés bueno", una condición no tan extrema y que resulta ser benéfica para el organismo, en la que intervienen los mecanismos fisiológicos de las especies reactivas, principalmente por reacciones de descomposición del peróxido de hidrógeno (H_2O_2); mientras que el distrés oxidativo o "estrés negativo", es el relacionado con un daño oxidativo hacia biomoléculas como ácidos nucleicos, proteínas, lípidos y carbohidratos, lo que puede causar el desarrollo de diversas enfermedades (Sies, 2020).

En la actualidad, las enfermedades que ocupan los primeros lugares de morbilidad y mortalidad en México, están caracterizadas por presentar un nivel de estrés oxidativo y un desbalance redox intracelular que son causados principalmente por la persistencia de condiciones inflamatorias crónicas; dentro de estas enfermedades están la diabetes, la obesidad, las dislipidemias, la resistencia a la glucosa, la aterosclerosis, el cáncer y la hipertensión. Se trata de enfermedades causadas por la conjugación de múltiples factores entre los que destacan la alimentación, el estilo de vida, la exposición a partículas tóxicas del ambiente y los factores genéticos.

INFLAMACIÓN

La inflamación es uno de los procesos fundamentales de protección con los que cuenta nuestro organismo; en ella, las células del sistema inmune participan activamente. Aunque los mecanismos fisiológicos son amplios y complejos, en la clínica se identifica con un abanico de signos como el rubor, el calor, el dolor y la hinchazón, y aunque es raro que se tome en cuenta, también el cambio en el equilibrio ácido-base por la presencia de hipoxia (baja accesibilidad al oxígeno), se considera también como uno de los signos característicos de un proceso inflamatorio.

Los principales elementos mediadores de la inflamación son las citocinas, quimiocinas, entre otros; se trata de proteínas de bajo peso molecular con la capacidad de generar reacciones inflamatorias locales y que llegan a actuar en el sistema nervioso, el cardiovascular y el endocrino, entre otros. Las citocinas proinflamatorias pueden ser generadas por diversas vías dentro de la célula que son iniciadas por receptores que se encuentran en la superficie de las membranas celulares, en el interior por algunos orgánulos, así como en respuesta a elementos de la microbiota intestinal, presencia de daño tisular y el EO (Michaud *et al.,* 2013).

Por lo anterior, muchos procesos patológicos tienen como base molecular la presencia de EO y el desarrollo de la inflamación. Es importante aclarar que estos factores no son enteramente causales de las patologías *per se,* ya que la utilización de un fármaco con actividad únicamente antioxidante o antinflamatoria no es capaz de reparar el daño celular, dada la naturaleza multifactorial de diferentes enfermedades.

Sin embargo, los compuestos con actividad antioxidante y antiinflamatoria, entre otras propiedades, son capaces de conferir protección ante diferentes estados patológicos.

EVIDENCIAS CLÍNICAS DE LAS PROPIEDADES CARDIOPROTECTORAS DE LA GRANADA

Aunque hacen falta muchos ensayos clínicos y preclínicos, la evidencia científica con la que se cuenta en la actualidad, sienta una base sólida para considerar a la granada roja como coadyuvante en diversas patologías, principalmente en las enfermedades cardiometabólicas, en las que el estrés oxidativo y los procesos inflamatorios son factores de riesgo para el desarrollo de comorbilidades.

En un estudio con 26 pacientes con niveles altos de triglicéridos y colesterol total, se evaluó el efecto del consumo de JG concentrado (40 ml/día) durante ocho semanas.

Aunque no se observaron cambios en los triglicéridos en suero, sí disminuyeron los niveles de colesterol total y colesterol de baja densidad (LDL, un marcador de riesgo cardiovascular y considerado como "colesterol malo") (Esmaillzadeh *et al.*, 2004).

Subsecuentemente, se observó disminución y regulación de la presión arterial diastólica y de los niveles de LDL en pacientes adultos (40-60 años) con sobrepeso y dislipidemia, quienes consumieron 300 ml de JG durante dos semanas (Kojadinovic *et al.,* 2020).

Se ha considerado que el ácido punícico, un tipo de ácido graso constituyente del aceite de semilla de granada, posee efectos antiaterogénicos, (es decir, que impediría la obstrucción de las arterias por placas de ateroma).

En un ensayo en 51 sujetos hiperlipidémicos que recibieron 800 mg/día de aceite de semilla de granada durante cuatro semanas, se observó disminución del colesterol de alta densidad (HDL o "colesterol bueno"), en relación con los niveles de triglicéridos, los cuales también disminuyeron (Mirmiran *et al.*, 2010).

Se ha estudiado también el efecto del consumo de JG en enfermedades cardiometabólicas como la diabetes tipo 2 (DT2).

En pacientes con obesidad, la administración de JG (120 ml) durante un mes no modificó la secreción y sensibilidad a la insulina; sin embargo, detuvo la evolución natural hacia el aumento de peso y la adiposidad.

En estudios a corto plazo (tres horas), el consumo de JG fresco no alteró los niveles de glucosa en ayuno en pacientes con DT2, quienes fueron suplementados con JG (1.5 ml/kg de peso); sin embargo, sí se observó incremento de la función de las células beta pancreáticas debido a la disminución de liberación de cortisol, una hormona que incrementa los niveles de glucosa en el organismo (Banihaní *et al.*, 2020).

En estudios a largo plazo (tres meses), el consumo de JG ayudó a la disminución de la cantidad de lípidos oxidados y aumentó las concentraciones de glutatión, un antioxidante endógeno (Rosenblat *et al.,* 2016).

En un estudio más reciente, el consumo de polvo de semilla de granada (5 g) durante ocho semanas, en 60 pacientes con DT2, redujo los niveles de glucosa en ayunas y la hemoglobina glucosilada (Seyed-Hashemi *et al.,* 2020).

Finalmente, en pacientes con diálisis peritoneal que consumieron JG (100 ml) durante ocho semanas, se observó disminución en los niveles de triglicéridos, en la presión arterial, en los marcadores de estrés oxidativo en lípidos (malondialdehído) y en los parámetros de inflamación (IL^{-6}, IL^{-8} E $IL^{-1}\beta$). Además, se observó mejoría en los niveles de HDL y en la capacidad antioxidante total (Barati Boldaji *et al*., 2020).

CONCLUSIONES

El consumo de granada puede ser de utilidad clínica para coadyuvar al tratamiento de enfermedades cardiometabólicas; sin embargo, la evidencia científica se debe utilizar con cautela, ya que la presentación del producto (jugo concentrado, polvo o semilla de granada), afecta los resultados. La comunidad científica debe continuar los estudios analíticos para establecer concentraciones recomendadas diarias.

© Emilio Salceda. *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

REFERENCIAS

Banihaní SA, Makahleh SM, El-Akawi ZJ (2020). Short-term Effect of Fresh Pomegranate Juice on Serum Cortisol and Thyroxine in Patients with type 2 Diabetes. *Current Molecular Medicine* 20(5): 355-360.

Barati Boldaji R, Akhlaghi M, Sagheb MM, Esmaeilinezhad Z (2020). Pomegranate juice improves cardiometabolic risk factors, biomarkers of oxidative stress and inflammation in hemodialysis patients: a randomized crossover trial. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100(2):846-854.

Esmaillzadeh A, Tahbaz F, Gaieni I, Alavi-Majd H, Azadbakht L (2004). Concentrated pomegranate juice improves lipid profiles in diabetic patients with hyperlipidemia. *Journal of Medicinal Food* 7(3):305-308.

Kojadinovic M, Glibetic M, Vucic V, Popovic M, Vidovic N, Debeljak-Martacic J, Arsic A (2021). Short-Term Consumption of Pomegranate Juice Alleviates Some Metabolic Disturbances in Overweight Patients with Dyslipidemia. *Journal of Medicinal Food* 24(9):925-933.

Michaud M, Balardy L, Moulis G, Gaudin C, Peyrot C, Vellas B, Cesari M, Nourhashemi F (2013). Proinflammatory cytokines, aging, and age-related diseases. *Journal of the American Medical Directors Association* 14(12):877-882.

Mirmiran P, Fazeli MR, Asghari G, Shafiee A, Azizi F (2010). Effect of pomegranate seed oil on hyperlipidaemic subjects: a double-blind placebo-controlled clinical trial. The British Journal of Nutrition 104(3):402-406.

Rosenblat M, Hayek T, Aviram M (2006). Anti-oxidative effects of pomegranate juice (PJ) consumption by diabetic patients on serum and on macrophages. *Atherosclerosis* 187(2):363–371.

Seyed-Hashemi M, Namiranian N, Tavahen H, Dehghanpour A, Rad MH, Jam-Ashkezari S, Emtiazy M and Hashempur MH (2021). Efficacy of Pomegranate Seed Powder on Glucose and Lipid Metabolism in Patients with Type 2 Diabetes: A Prospective Randomized Double-Blind Placebo-Controlled C*linical Trial. Complement Med Res* 28(3):226-233.

Sies H (2020). *Oxidative Stress: Eustress and Distress*. London, UK: Academic Press.

Wu S, Tian L (2017). Diverse Phytochemicals and Bioactivities in the Ancient Fruit and Modern Functional Food Pomegranate (*Punica granatum*). *Molecules* (Basel, Switzerland) 22(10):1606.

José Arias Rico
Diego Estrada-Luna
Área Académica de Enfermería
Instituto de Ciencias de la Salud
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
destrada_luna@uaeh.edu.mx

Angélica Saraí Jiménez-Osorio
Área Académica de Enfermería
Instituto de Ciencias de la Salud
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Coordinación de Enseñanza e Investigación
Hospital del Niño DIF Hidalgo

© Emilio Salceda. *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

Mito o realidad:

Equisetum en la medicina tradicional, un enfoque bioinformático

Roberto **Villagrán Torres**
Jesús **Sandoval Ramírez**
Alan **Carrasco-Carballo**

Para millones de personas, la medicina tradicional desarrollada por los pueblos originarios es un recurso fundamental en el cuidado de la salud; además, forma parte de la cosmovisión y de la identidad indígena, y resalta la profunda relación que han tenido los pueblos originarios con el ecosistema y su manejo sustentable.

Por su elevada importancia, muchos países europeos y asiáticos se han dedicado a crear farmacopeas para el uso racional de plantas medicinales (Jiménez, 2017). En México, las comunidades y los pueblos originarios han utilizado cerca de 7,000 especies vegetales (de un total de las más de 20,000 especies de plantas reportadas en México) para realizar tratamientos de medicina tradicional (se carece de farmacopea nacional), entre las que se puede encontrar a las "colas de caballo" (Gallardo, 2006).

En la actualidad, diversos grupos de investigación se han dado a la tarea de buscar explicación científica de dichos usos medicinales tradicionales, enfocándose en la evaluación biológica en modelos animales con inducción de las patologías contra las que se utilizan las plantas medicinales (Wang *et al*., 2022).

Figura 1. Representantes del género *Equisetum* en México: a) Estróbilo; b) Tallo de *Equisetum giganteum*; c) Estróbilo; d) Tallo de *Equisetum hyemale.*

Para reforzar lo anterior se pueden emplear nuevas herramientas para analizar datos a través de un nuevo enfoque, como el uso de herramientas bioinformáticas, para encontrar una correlación entre los metabolitos que contiene la planta medicinal y las dianas moleculares asociadas a la enfermedad de estudio (Vibala *et al*. 2020).

EL GÉNERO *EQUISETUM*

Las plantas conocidas como "cola de caballo", "carricillo" o *Equisetum,* son un grupo de plantas casi idénticas a las localizadas en fósiles de hace 360 millones de años, que dominaron el planeta en territorio y número, pero que fueron extinguiéndose a lo largo de los años hasta quedar actualmente en un reducido grupo de 15 especies (Figura 1; Husby y Walkowiak, 2012).

Las características morfológicas y genómicas del género *Equisetum* respaldan su carácter primitivo (Gallardo, 2006). Las "colas de caballo" mantienen la reproducción por esporas concentradas en los estróbilos, órganos reproductivos considerados primitivos, y no tienen flores ni frutos ni semillas, estructuras típicas de plantas de evolución reciente (Gallardo, 2006). La reproducción por esporas aparece en plantas que aún no lograban independizarse del ambiente húmedo. Ciertamente, *Equisetum* está siempre cercano a cuerpos de agua en todo el mundo (Husby y Walkowiak, 2012).

Las plantas del género *Equisetum* poseen metabolitos secundarios con funciones ecológicas de tipo repelentes, insecticidas o venenos, los cuales tienen potencial medicinal, industrial, alimentario y económico, como lo han demostrado anteriormente diferentes grupos de metabolitos secundarios, al ser sintetizados y utilizados como medicamentos, saborizantes, colorantes, aromatizantes, entre otros (Husby y Walkowiak, 2012).

En la medicina tradicional mexicana, *Equisetum* se ha empleado como diurético, cicatrizante, antiinflamatorio, antihemorrágico y para disolver cálculos renales; por ejemplo, en Puebla se bebe en infusión para tratar infecciones urinarias y dolor de riñón, dolor de estómago y anemias. (Gallardo, 2006).

METABOLITOS SECUNDARIOS

Las plantas del género *Equisetum* tienen una composición química con pequeñas variaciones en metabolitos y en sus porcentajes, dependiendo de la especie y el hábitat (Husby y Walkowiak, 2012). Son ricas en sales minerales y es muy característico encontrar átomos de silicio, principalmente en forma de sílice (SiO_2) y silicatos hidrosolubles; además, presentan una importante cantidad de sales de potasio, calcio, fósforo y, en menor proporción,

Especie/*referencia*	Metabolitos secundarios		
***E. arvense*/ Boeing *et al.* 2021**	Palustrina	Palustridina	Nicotina
	Ácido p-cumárico	Ácido cafeico	Feniletanol
	Ácido homovainíllico	Benzaldehido	2-Feniletanol
	Ácido ursólico	α-amirina	β-amirina
	ψ-taraxasterone	Ácido betulínico	Ácido oleanólico
	Isobauerenol	Germanicol	Taraxerol
	Apigenina	Apigenina-5-O-glucósido	Kaempferol-3,7-di-0-glucósido
	Kaempferol-3-O-soforósido	Kaempferol-3-O-glucósido	Luteolina-5-O-glucósido
	Quercitina-3-O-glucósido	Luteolina	Kaempferol
	Uridina	Epicolestanol	Colesterol
	Inosina	Sitosterol	28-isofucosterol
***E. debile*/ Boeing *et al.* 2021**	Timidina	Ácido ferúlico	Ácido cafeico
	Uridina	5-hidroximetil-2-furfuraldehído	Ácido p-hidroxibenzoico
	Kaempferol-3-O-glucósido	Kaempferol 3-O-sophorosido	Kaempferol-3-O-glucósido
***E.giganteum*/ Boeing *et al.* 2021**	Cianidina	Pelargonidina	Kaempferol-3-O-glucósido
	Kaempferol-3-O-soforósido	Kaempferol-3,7-di-O-glucósido	Quercitina-3-O-glucósido
	Quercetina	Ácido cafeico	Ácido gálico
***E. palustre*/Müller *et al.* 2020; Boeing *et al.* 2021**	Kaempferol-3-O-glucósido	Palustridina	Palustrina
	Kaempferol	Nicotina	2-Feniletanol
	Feniletanal	Isovainillina	
***E. heymale*/ Boeing *et al.* 2021**	Uridina	Kaempferol-3-O-soforósido	Kaempferol-3,7-di-O-glucósido

Tabla 1. Principales metabolitos secundarios reportados en el género *Equisetum*. Flavonoide, alcaloide, esteroide, fenol, terpeno.

sodio, magnesio, manganeso y zinc (Villar e Iglesias, 2006). La siguiente tabla presenta los metabolitos secundarios identificados para cada especie, según datos bibliográficos (Tabla 1).

Los compuestos fenólicos y los flavonoides suelen ser llamativos por su destacada actividad antioxidante; sin embargo, también intervienen en la comunicación celular, regulan el crecimiento celular y la liberación de enzimas detoxificantes (Asgarpanah y Roohi, 2012). De los compuestos fenólicos, se han demostrado efectos vasodilatadores, anticarcinogénicos, antiinflamatorios, bactericidas, estimuladores de la respuesta inmune, antialérgicos, antivirales, efectos estrogénicos e inhibidores de fosfolipasa A2, cicloxigenasa, 1-hipooxigenasa, glutatión reductasa y xantina oxidasa (Asgarpanah y Roohi, 2012). Los terpenos son un amplio grupo de moléculas que incluyen hormonas, pigmentos carotenoides, esteroles y aceites esenciales, los cuales poseen importancia medicinal gracias a sus propiedades anticarcinogénicas, antimicrobianas, antiulcerosas, antiinflamatorias, antitumorales

y antivirales; además, se han utilizado para tratar el envenenamiento producido por consumo de hongos venenosos del género *Amanita* (Asgarpanah y Roohi, 2012). Los esteroides vegetales tienen acción en el desarrollo vegetal; sin embargo, al ser consumidos por el organismo animal, las moléculas sustituyen los sitios celulares donde actúa el colesterol en el sistema digestivo, desplazándolo hacia la excreción y disminuyendo los niveles de colesterol en el torrente sanguíneo; por otro lado, se han demostrado sus propiedades antiinflamatorias, bactericidas y fungicidas (Muñoz *et al*., 2011).

Estas moléculas tienen potencial de desencadenar reacciones metabólicas activadoras o inhibitorias al interactuar con receptores celulares o dianas biológicas; de ahí su interés medicinal y farmacológico (Muñoz *et al*., 2011).

No obstante, conocer la diana específica con la cual pueden interaccionar los compuestos fenólicos es complicado, ya que depende de la estructura molecular del género de plantas de donde se aíslen, por lo que, cruzando herramientas bioinformáticas con la lista de metabolitos reportados en la bibliografía, es posible proponer las dianas con las que podría interaccionar (Carrasco-Carballo, 2023).

¿CON QUÉ DIANAS BIOLÓGICAS INTERACCIONAN LOS METABOLITOS DE EQUISETUM?

La correlación del total de metabolitos secundarios con el grupo de todas las dianas activadas por cada uno de ellos se presenta de manera gráfica a través del diagrama 50 + 1 (Figura 2), el cual nos presenta en formato de frecuencia, el porcentaje de similitud que tienen el total de estructuras con respecto a una base de datos de moléculas con actividad biológica demostrada; se calcula mediante el análisis 2D y 3D de la estructuras comparando a nivel de grupos funcionales y distribución polar espacial sumando la probabilidad de interacción con cada proteína respecto al total de moléculas.

Con este diagrama es posible identificar a las dianas prioritarias; es decir, las dianas con una mayor probabilidad de presentar respuesta metabólica por el consumo de las "colas de caballo". El Diagrama 50 + 1 se obtuvo a partir de la base de datos de estructuras generado por los reportes bibliográficos; a través de la plataforma SwissTargetPrediction (Daina *et al*., 2019) se determinó la lista de dianas con posible interacción, reportando aquellas en las que al menos el 50 % de las moléculas presentan una similitud estructural 2D o 3D.

En el estudio *in silico* desarrollado, se observó interacción con proteínas dianas que participan en procesos de tipo antiinflamatorio, antiespásmico, antisenescente, productor de colágeno y relacionadas con el sistema urinario.

Esta información expone una posible explicación del funcionamiento del consumo de las plantas propuesto por la medicina tradicional de diferentes poblaciones originarias. Si bien no se determina el tipo de interacción molecular que ocurre, sí se puede fundamentar que las plantas en cuestión pueden tener las funciones propuestas por la medicina tradicional, deducido esto por los sitios, células y proteínas dianas con las que interactúan los metabolitos secundarios presentes en las plantas del género *Equisetum*.

ACOPLAMIENTO MOLECULAR (DOCKING)

Por otro lado, el estudio *in silico* despierta interrogantes con respecto a la interacción de las plantas de *Equisetum* con receptores celulares característicos para cánceres sólidos, como el cáncer de colon, pulmón, ovario, testículo, esofágico y renal, así como con la acetilcolinesterasa y el potencial farmacológico que podría estar oculto en estas plantas.

Por otro lado, se ha ensayado el *docking* molecular (técnica que simula interacciones entre una molécula pequeña, y una proteína. Mediante la comparación contra algún control reportado permite establecer una actividad similar o mejor que este último) realizado con el programa Glide (suite Schrödinger), utilizando un sistema a pH de 7.4 con movilidad en el sitio de la enzima correspondiente (Carrasco-Carballo, 2023) para las

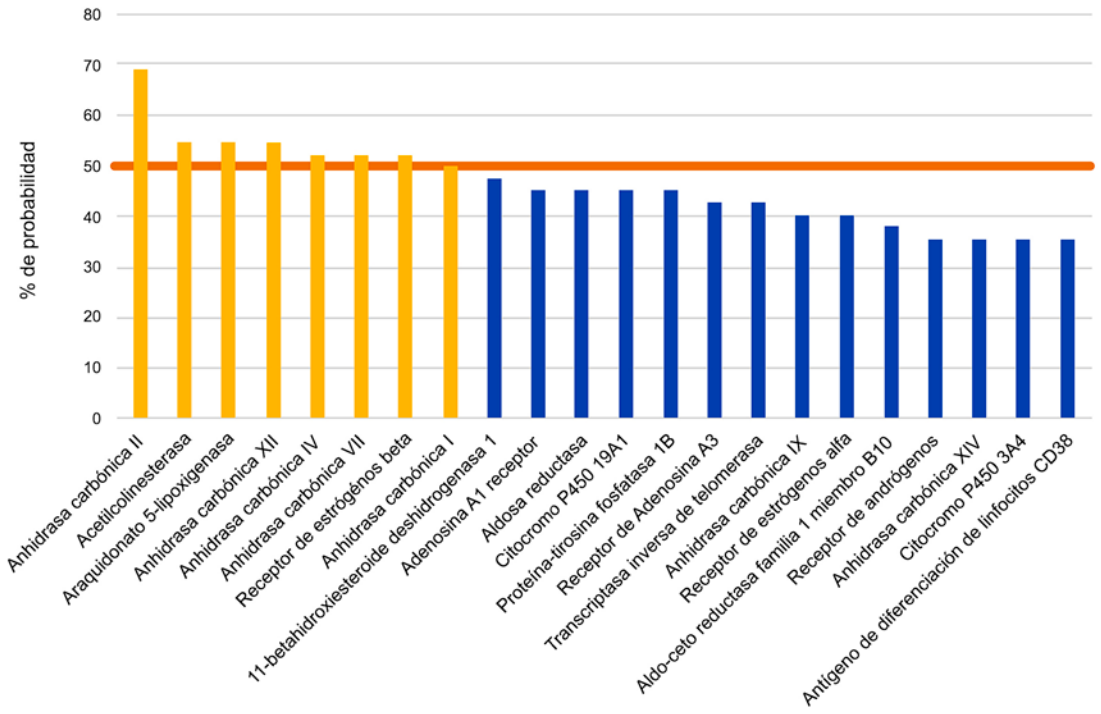


Figura 2. Diagrama de frecuencia porcentual de los componentes fitoquímicos del género *Equisetum*. Indica las proteínas de posible interacción, a fin de proponer posibles mecanismos de acción así como explicar usos de la medicina tradicional.

proteínas diana AChE y CA2 (Cheung *et al*., 2013; Temmperini *et al*., 2008).

Se puede observar que gran cantidad de metabolitos secundarios tienen mejor energía de acoplamiento (análogo a la energía de Gibbs que permite estimar si un proceso, interacción proteína-ligando particularmente, es espontáneo y por tanto favorable) que la galantamina, el fármaco de referencia, lo que sugiere actividad potencial contra enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer. Para el caso de CA2 se observa un fenómeno similar; es decir, los fitoconstituyentes tienen un potencial inhibidor en esta vía. Si bien esto es positivo contra algunas enfermedades, es de considerarse que puede generar irregularidades metabólicas en sistemas sanos, por lo que el consumo de *Equisetum* debe ser controlado (Cheung *et al*., 2013).

CONCLUSIONES

Las plantas de *Equisetum* demostraron su potencial mediante el empleo de herramientas bioinformáticas y la revisión bibliográfica realizada. Diversos componentes de *Equisetum* parecen tener efectos de tipo anticancerígeno, antiinflamatorio, antiespásmico, antisenescente, así como efectos positivos contra enfermedades neurodegenerativas; sin embargo, las pruebas demuestran posibles desregulaciones en organismos sanos.

Los estudios de acoplamiento molecular realizados a los metabolitos secundarios soportan interacciones duales con la AChE y la CA2, por lo que es necesario emprender evaluaciones biológicas a estas dianas para desentrañar correlaciones y dar sustento científico al tratamiento propuesto por la medicina tradicional.

REFERENCIAS

Asgarpanah J and Roohi E (2012). Phytochemistry and pharmacological properties of Equisetum arvense L. *Journal of Medicinal Plants Research* 6(21):3689-3693.

Boeing T, Tafarelo K, Gasparotto A, Mota L and Souza P (2021). Phytochemistry and Pharmacology of the Genus *Equisetum* (Equisetaceae): A Narrative Review of the Species with Therapeutic Potential

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

for Kidney Diseases. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2021(1):1-17.

Carrasco-Carballo A, Mendoza-Lara D, Rojas-Morales J, Alatriste V, Merino-Montiel P, Luna F and Sandoval-Ramírez J (2023). *In silico* Study of coumarins Derivatives with Potential Use in Systemic Diseases. *Biointerface Research in Applied Chemistry* 13(3):1-21.

Cheung J, Gary E, Shiomi K and Rosenberry T (2013). Structures of Human Acetylcholinesterase Bound to Dihydrotanshinone I and Territrem B Show Peripheral Site Flexibility. *ACS Medicinal Chemistry* 4(11):1091-1096.

Daina A, Michielin O and Zoete V (2019). SwissTargetPrediction: updated data and new features for efficient prediction of protein targets of small molecules. *Nucleic Acids Research* 47(1):357-364.

Gallardo J (2006). Importancia etnobotánica de una planta vascular sin semilla en México: Equisetum. *Polibotánica* 20(1):61-74.

Husby C and Walkowiak R (2012). An Introduction to the Genus *Equisetum* (Horsetail) and the Class Equisetopsida (Sphenopsida) as a whole. *International Research Botany Group* (2012):4-13.

Jiménez A (2017). Medicina tradicional. *Boletín CONAMED-OPS.* 13(1):31-34.

Monti S, Supuran C, De Simone G and Di Fiore A (2015). Carbonic Anhydrase VII, in Carbonic Anhydrases as Biocatalysts: From Theory to Medical and Industrial Applications. Elsevier: Amsterdam: 151-159.

Muñoz A, Alvarado-Ortíz C and Encina C (2011). Fitoesteroles y fitoestanoles: Propiedades saludables. *Horizonte Médico* 11(2):93-100.

Müller J, Puttich P and Beuerle T (2020). Variation of the Main Alkaloid Content in Equisetum palustre L. in the Light of Its Ontogeny. *Toxins* 12(710):1-14.

Vibala BV, Praseetha PK and Vijayakumar S (2020). Evaluating new strategies for anticancer molecules from ethnic medicinal plants through in silico and biological approach-A review. *Gene Reports* 18(100553):1-15.

Villar A e Iglesias I (2006). Equiseto. Farmacología y farmacoterapia. *Farmacia Profesional* 20(2):74-77.

Wang Y, Zhao Y, Liu X, Li J, Zhang J and Liu D (2022). Chemical constituents and pharmacological activities of medicinal plants from *Rosa* genus. *Chinese Herbal Medicines* 14(2):187-209.

Roberto Villagrán Torres
Jesús Sandoval Ramírez
Alan Carrasco-Carballo
Laboratorio de Elucidación y Síntesis en Química Orgánica
Facultad de Ciencias Químicas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
alan.carrascoc@correo.buap.mx

www.elementos.buap.mx

75 aniversario del transistor

Chumin **Wang**
Vicenta **Sánchez**

ELECTRÓNICA BASADA EN TUBOS DE VACÍO

A inicios del siglo XX, después del descubrimiento de los electrones por Joseph John Thompson en 1897, las áreas de la ciencia que darían lugar a lo que hoy conocemos como electrónica experimentaron un vertiginoso crecimiento comenzando con la teoría cuántica de Max Karl Ernst Ludwig Planck en 1900. En forma paralela, John Ambrose Fleming desarrolló en 1904 el primer dispositivo electrónico denominado válvula termoiónica o diodo de vacío, el cual consistió en un filamento caliente –emisor de electrones– situado en un tubo de vacío y cercano a una placa metálica con una diferencia de potencial aplicada que puede atraer o repeler dichos electrones. Dos años después, Lee de Forest, de la Western Electric Company, inventó la válvula triodo de vacío colocando una rejilla entre el cátodo y el ánodo del diodo de Fleming. Dicho triodo permitió la amplificación de señales eléctricas y constituyó el elemento fundamental en los primeros telégrafos, teléfonos, televisores, receptores de radio y radares, así como en las primeras computadoras electrónicas. Por ejemplo, la primera computadora digital desarrollada en 1937 por el profesor John Vincent Atanasoff y su estudiante Cliff Berry –conocida como Atanasoff-Berry Computer (ABC)–, contenía 300 tubos de vacío, mientras que la computadora e integrador numérico electrónico (ENIAC por sus siglas en inglés) inventada en 1943 por John Presper Eckert y

John Mauchly contenía 17,468 tubos de vacío (varios de ellos se fundían cada día), 500 millas de cables, ocupaba una superficie de 167 m^2, pesaba 30 toneladas y consumía los 200 kW necesarios para alimentar a una pequeña ciudad de esa época.

En esos años, un joven estadounidense, Mervin Joe Kelly, ingresó a la edad de 16 años en la Escuela de Minas y Metalurgia con el propósito de ser un ingeniero minero; trabajaba en las noches y fines de semana clasificando los especímenes minerales por un sueldo de 18 USD mensuales (Pierce, 1975). A de su segundo año en Rolla, fue asistente de profesor de química, obtuvo la beca para colegiatura y un pago anual de 300 USD. El siguiente verano trabajó en la mina de cobre de Utah, y esa experiencia modificó su visión acerca de la metalurgia, de manera que decidió cambiarse a la ciencia básica; se graduó con honores en 1914. Después, Mervin se fue a enseñar física y a estudiar matemáticas en la Universidad de Kentucky, donde obtuvo el grado de maestría en 1915. Posteriormente, en la Universidad de Chicago se desempeñó como asistente del profesor Robert Andrews Millikan y participó en los famosos experimentos de gotas de aceite para determinar la carga del electrón. Obtuvo su doctorado en 1918. Inmediatamente después ingresó al Departamento de Ingeniería de la Western Electric Company con un salario anual de 2,100 USD y logró aumentar la vida de los tubos amplificadores de 1,000 a 80,000 horas.

En enero de 1925, la American Telephone and Telegraph (AT&T) creó los Laboratorios Bell absorbiendo la parte de investigación y desarrollo de su subsidiaria Western Electric Company, mientras que el doctor Kelly fue nombrado sucesivamente director de desarrollo de los tubos de vacío entre 1928 y 1934, director de desarrollo de instrumentos de transmisión y electrónica entre 1934 y 1936 y desempeñó el puesto de director de investigación a partir de 1936. En ese mismo año, contrató a William B. Shockley –un joven recién doctorado del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)– para desarrollar dispositivos de estado sólido con el fin de reemplazar los tubos de vacío ampliamente utilizados en la telefonía. Por su visión Kelly ha sido considerado como el padre espiritual del transistor.

PRIMER TRANSISTOR DE ESTADO SÓLIDO

El mencionado William B. Shockley Jr. nació en Londres, Inglaterra, en 1910 (Moll, 1995). Obtuvo la licenciatura de física en el Instituto de Tecnología de California (Caltech) en 1932 y el doctorado en el MIT con la tesis titulada "Cálculo de funciones de onda electrónica en cristales de NaCl" su contratación se realizó después de un largo periodo de depresión económica (1930-1936), tiempo durante el cual en los Laboratorios Bell no ingresaron nuevos investigadores. Uno de los últimos contratados en 1929 fue Walter Houser Brattain, un joven físico nacido en 1902 en China (Bardeen, 1994). Brattain creció en los EU, se graduó en física 1924 en el Whitman College de Washington y en 1928 obtuvo el doctorado en la Universidad de Minnesota. Durante casi una década, Brattain trabajó en los rectificadores o diodos basados en óxido de cobre. En 1939, Shockley diseñó un amplificador por efecto campo y estuvo probando junto con Brattain este diseño que usaba el óxido de cobre sin tener éxito. Estas pruebas fueron suspendidas a causa de la Segunda Guerra Mundial, periodo en que Mervin Kelly consiguió financiamientos cuantiosos haciendo que los Laboratorios Bell fueran uno de los mejores equipados del mundo.

En 1945, al término de la guerra, Shockley fue designado como líder del Grupo de Estado Sólido y sugirió al presidente de los Laboratorios Bell, Marvin Kelly, la contratación de un destacado físico teórico, John Bardeen, con el fin de reforzar su grupo en el estudio de dispositivos semiconductores. Bardeen nació en Wisconsin en 1908, estudió en la Universidad de Wisconsin, donde culminó su licenciatura (1928) y maestría (1930) en ingeniería eléctrica (Pines, 2013). Entre 1930 y 1933, trabajó en los Laboratorios de Investigación Gulf en Pittsburgh, donde desarrolló métodos electromagnéticos para la prospección petrolífera y en su tercer año decidió estudiar un doctorado en el recién inaugurado Instituto de Estudios Avanzados en Princeton y obtuvo el grado en 1936 desarrollando el método de Hartree-Fock

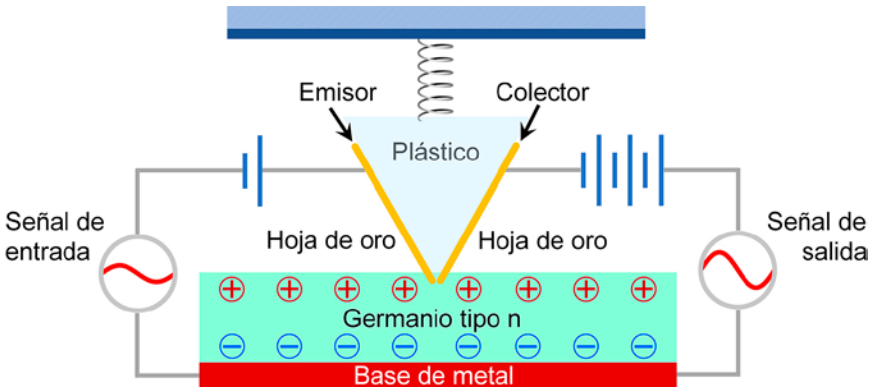


Figura 1. Representación esquemática del primer transistor de contacto puntual fabricado por los Laboratorios Bell en diciembre de 1947. Se observa la capa de inversión con huecos (⊕) como portadores de carga en la parte superior del bloque de germanio.

dependiente del tiempo. Enseguida, recibió una beca de la Universidad de Harvard para realizar una estancia de investigación que duraría hasta 1938. La invitación de 1945 a laborar en el Grupo de Estado Sólido fue un reconocimiento a las habilidades para la investigación mostradas por Bardeen.

En octubre de 1945, Shockley pidió a Bardeen que revisara el diseño y los cálculos realizados por él, así como el fallido intento de construir un amplificador de efecto campo en 1939. Después de largos meses de trabajo compartiendo la misma oficina con Brattain, Bardeen encontró que los estados localizados de superficie que se desvanecen en el interior de la muestra fueron los causantes de dicho fallo (Bardeen, 1947). En noviembre del mismo año, Brattain logró neutralizar el bloqueo de los estados de superficie sumergiendo al silicio en un electrolito; cuatro días después, Bardeen y Brattain observaron una pequeña amplificación de señales en un bloque de silicio con una gota de electrolito y un punto metálico como contactos eléctricos. Una vez logrado este resultado, reemplazaron el silicio por un bloque de germanio tipo *n* (dopado por átomos de la columna V de la Tabla Periódica) disponible en su laboratorio y obtuvieron por primera vez una ganancia de 330 al aplicar un potencial negativo a la gota de electrolito, el cual según Bardeen genera una capa de inversión de tipo *p* o conducción por huecos con carga eléctrica positiva en la cercanía a la interfaz germanio-electrolito. Siguiendo la sugerencia de Bardeen para eliminar el uso del electrolito, Brattain sometió dos electrodos de oro muy próximos (emisor y colector) en un bloque de germanio conectado a la base, como se muestra en la Figura 1, y así observó la amplificación tanto de señal como de potencia hasta de 1,000 Hz, lo cual fue presentado a los ejecutivos de los Laboratorios Bell el 23 de diciembre de 1947 en un circuito con el nuevo amplificador de estado sólido que les permitió escuchar discursos a través de un par de audífonos.

El descubrimiento del transistor se mantuvo como un secreto hasta junio de 1948, cuando Bardeen y Brattain solicitaron una patente –sin Shockley– reportando la primera realización experimental de dicho triodo amplificador basado en semiconductores (Bardeen y Brattain, 1950), el cual también se conoce como "transistor", palabra que proviene de la contracción de las palabras *transfer* y *resistor*. Durante los primeros días después de la invención del transistor de contacto puntual, Shockley logró crear un nuevo dispositivo conocido como transistor de unión, el cual consiste en un sándwich *n-p-n* dentro de un solo bloque de semiconductor con mayor confiabilidad y facilidad para la producción masiva. El funcionamiento de este nuevo dispositivo se predijo claramente a través de la teoría de bandas y su patente fue solicitada en junio de 1948 (Shockley, 1951). La realización experimental de dicho transistor de unión *n-p-n* no se logró hasta abril de 1950, debido al requerimiento de monocristales semiconductores de alta pureza, confirmándose así el concepto de inyección de portadores minoritarios (electrones) a través de la zona *p* de la unión, mientras que Shockley culminaba en ese año su obra

maestra de 558 páginas titulada *Electrones y huecos en semiconductores* que fue el primer libro de texto para científicos e ingenieros que trabajan en dispositivos semiconductores (Shockley, 1950). La invención de transistores tanto de contacto puntual como de unión –ambos basados en semiconductores que consumen una millonésima parte de electricidad que un típico tubo de vacío– fue reconocida con el Premio Nobel de Física a William B. Shockley, John Bardeen y Walter H. Brattain en 1956.

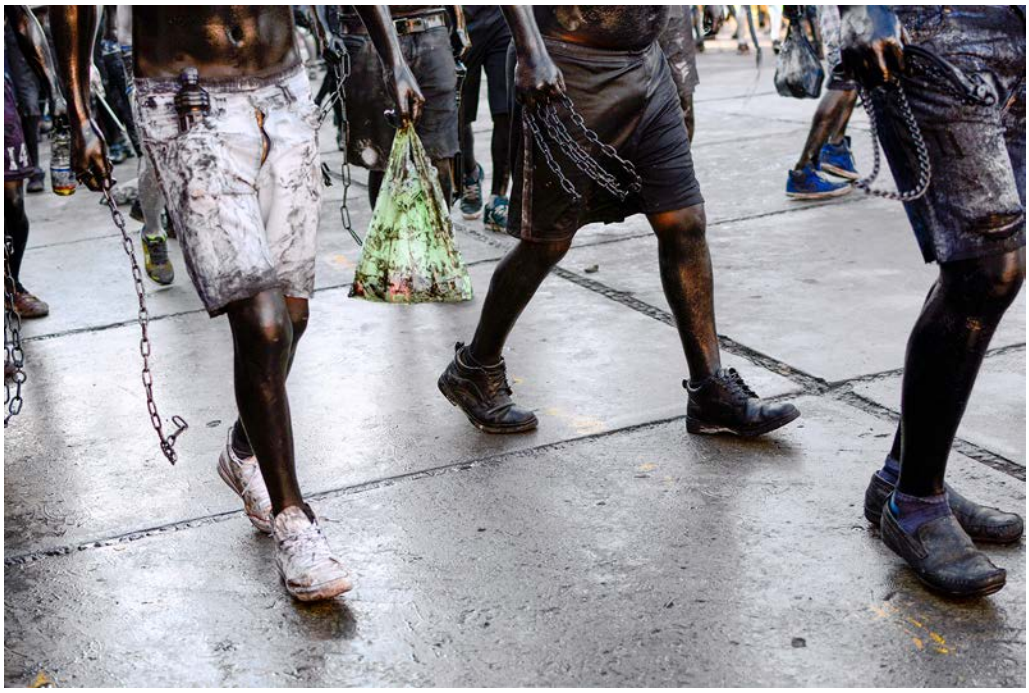
NANOTECNOLOGÍA EN CIRCUITOS INTEGRADOS

Después de la euforia por la invención del transistor, Bardeen enfrentó una atmósfera enrarecida en el grupo dirigido por Shockley, quien solo permitía investigaciones experimentales sugeridas por él. Además, el descubrimiento del efecto isotópico observado en el plomo a principios de 1950, donde la temperatura de transición superconductora depende de la masa isotópica, revivió en Bardeen su idea –que venía de una década atrás– de una posible conexión entre la superconductividad y la vibración de red. En 1951, Bardeen renunció a los Laboratorios Bell aceptando la invitación de la Universidad de Illinois, lugar donde laboró hasta su jubilación y obtuvo su segundo Premio Nobel (Pines, 2013).

Brattain continuó en los Laboratorios Bell hasta la jubilación, mientras que Shockley fundó en 1955 su propia compañía llamada Laboratorio Shockley de Semiconductores como una división de Beckman Instruments en el Parque Industrial de Stanford. Shockley fue un mejor científico que empresario, por lo que los Laboratorios Shockley no fueron financieramente exitosos en el desarrollo de diodos de 4 capas, a pesar de ser una de las primeras compañías del Valle de Silicio, junto con Hewlett-Packard. En 1957, Robert Noyce, Gordon Moore, Jean A. Hoerni y un grupo de otros cinco empleados abandonaron a Shockley para formar una nueva compañía llamada Fairchild Semiconductor con el fin de fabricar transistores de silicio, en lugar de germanio, cuyo primer lote de 100 fue fabricado tres meses después de su fundación mediante el proceso planar de Hoerni y fue vendido a IBM por 150 USD cada uno. A mediados de 1959, Noyce desarrolló en Fairchild el primer circuito integrado mediante procesos de fotolitografía; este circuito incluía cuatro transistores y todos los demás elementos del dispositivo tales como resistencias y condensadores, así como las conexiones metálicas, sobre la misma oblea de silicio cristalino, en paralelo al primer circuito monolítico de germanio donde se conectaban sus componentes a través de hilos de oro, fabricado por Jack St. Clair Kilby en Texas Instruments a inicios de 1959; este último introdujo el concepto de circuitos monolíticos que fue reconocido con el Premio Nobel de Física del año 2000.

En 1968, Robert Noyce y Gordon Moore fundaron Intel Corporation, para fabricar circuitos integrados basados en Transistores de Efecto de Campo Metal-Óxido-Semiconductor (MOSFET). El nombre de la compañía es un acrónimo de las palabras integración y electrónica. En 1971 lanzaron su primer microprocesador o chip, el modelo i4004 de 16 pines que contiene 2,300 transistores de 10 μm y una unidad central de procesamiento (CPU) a 740 kHz capaz de procesar 92,600 instrucciones por segundo con un bus de 4 bits y un costo de 60 USD. Hoy en día, los nuevos dispositivos electrónicos contienen miles de millones de MOSFET; por ejemplo, Apple M1 Ultra tiene 114 mil millones de transistores de 5 nm fabricados por Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC); Nvidia GPU H100 posee 80 mil millones de transistores de 5 nm fabricados por TSMC y Cerebras Wafer Scale Engine 2 exhibe 2.6 billones de transistores de 7 nm también fabricados por TSMC. En 2022, la compañía surcoreana Samsung anunció la producción de microprocesadores basados en transistores de 3 nm en los que aplica una arquitectura de Gate-All-Around y una tecnología propia llamada Multi-Bridge-Channel-FET (Li y Kim, 2008) con una reducción del consumo de energía de hasta un 45 % y una mejora de rendimiento (23 %), en comparación con los chips de 5 nm (Samsung, 2022).

En esta breve historia del primer transistor, hay 4 personas fundamentales durante su creación en 1947. (1) Mervin J. Kelly: el visionario y estratega del proyecto. (2) William B. Shockley: el físico brillante y



© **Emilio Salceda**. *Xinacates*. San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

creativo. (3) John Bardeen: el científico sabio y pensador, y (4) Walter H. Brattain: El experimentalista perseverante y analítico. La conjunción de ellos en los Laboratorios Bell revolucionó la microelectrónica sustentada en la teoría cuántica de sólidos y marcó un punto de inflexión en la historia de la tecnología.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente apoyado por los proyectos IN110020 y IN112522 del PAPIIT-UNAM.

REFERENCIAS

Bardeen J (1947). Surface states and rectification at a metal semiconductor contact. *Phys. Rev.* 71(10):717-727.

Bardeen J (1994). A biographical memoir of Walter Houser Brattain 1902-1987. National Academy of Science. Recuperado de: http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/brattain-walter-h.pdf.

Bardeen J and Brattain WH (1950). Three-electrode circuit element utilizing semiconductive materials, US Patent No. 2524035 solicitada el 17 de junio de 1948 Washington D.C. Recuperado de: https://patents.google.com/patent/US2524035A/en.

Li M y and Kim SM (2008). Multi bridge channel field effect transistors with nano-wire channels and methods of manufacturing the same, US Patent No. 7427788B2 solicitada el 26 de octubre de 2005 Washington D.C. Recuperado de: https://patents.google.com/patent/US7427788B2/en.

Moll JL (1995). A biographical memoir of William Bradford Shockley 1910-1989. National Academy of Science. Recuperado de: http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/shockley-w.pdf.

Pierce JR (1975). A biographical memoir of Mervin Joe Kelly 1894-1971. National Academy of Science. Recuperado de: http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/kelly-mervin.pdf.

Pines D (2013). A biographical memoir of John Bardeen 1908-1991. National Academy of Science. Recuperado de: http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/bardeen-john.pdf.

Samsung Global Newsroom (2022). Samsung begins chip production using 3nm process technology with GAA architecture. Recuperado de: https://news.samsung.com/global/samsung-begins-chip-production-using-3nm-process-technology-with-gaa-architecture.

Shockley W (1950). *Electrons and holes in semiconductors: with applications to transistor electronics*. D. Van Nostrand Company, Inc.

Shockley W (1951). Circuit element utilizing semiconductive material, US Patent No. 2569347 solicitada el 26 de junio de 1948 Washington D.C. Recuperado de: https://patents.google.com/patent/US2569347A/en.

Chumin Wang
Instituto de Investigaciones en Materiales

Vicenta Sánchez
Departamento de Física
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México
vicenta@unam.mx

© **Emilio Salceda.** *Xinacates.* San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.