

ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias

NOVEDADES CIENTÍFICAS

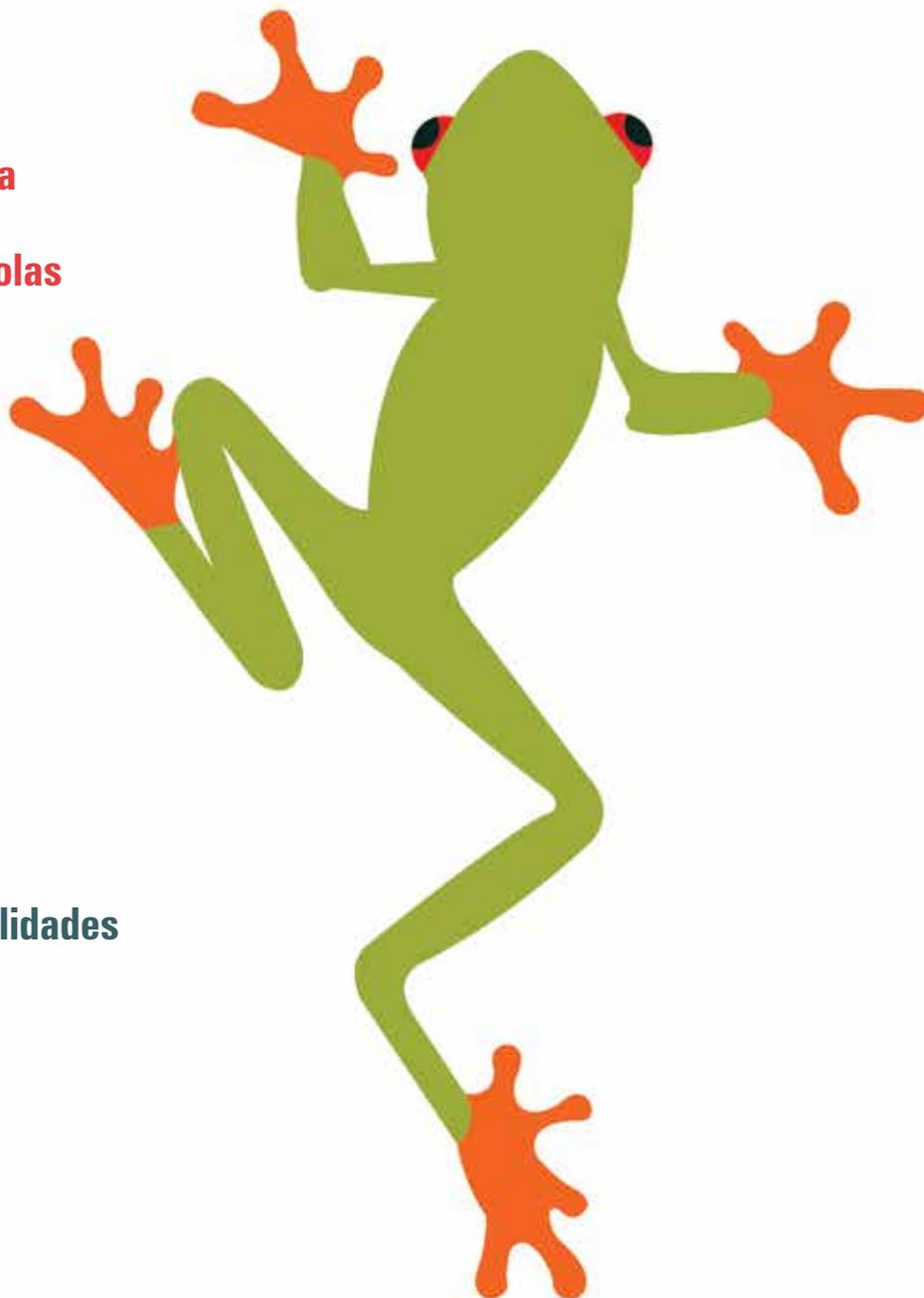
**Serotonina,
depresión
y suicidio**

**Combustible para
aviación a partir
de residuos avícolas**

**Ranas y sapos,
el porqué de
su conservación**

**Revalorización
de residuos**

**COVID-19:
fortalezas y debilidades**





CONSEJO DIRECTIVO
julio 2020 - julio 2023

Presidenta

Estela Susana Lizano Soberón

Vicepresidente

José Antonio Seade Kuri

Tesorero

Dante Jaime Morán Zenteno

Secretarios

María del Jesús Rosales Hoz

Pedro Salazar Ugarte

Presidentes de las Secciones Regionales de la AMC

Sección Centro-Occidente: María Patricia Arias Rozas

Sección Centro-Sur: María del Carmen Cisneros Gudiño

Sección Noreste: Oliverio Santiago Rodríguez Fernández

Sección Noroeste: Alfredo Ortega Rubio

Sección Sur-Sureste: Soledad María Teresa Hernández Sotomayor



ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias

abril-junio 2021 volumen 72 número 2

- Desde el Comité Editorial 3
Miguel Pérez de la Mora y Alonso Fernández Guasti



Novedades científicas

- Serotonina, depresión y suicidio 4
Emiliano Tesoro Cruz, Sandra A. Rojas Osornio y Vilma Carolina Bekker Méndez
- Cadena de suministro para la producción de biocombustibles 10
Deicy María Matos Ríos, José María Ponce Ortega y Claudia Gutiérrez Antonio
- Combustible de aviación a partir de residuos avícolas 18
Ana Laura Moreno Gómez, Claudia Gutiérrez Antonio y Fernando Israel Gómez-Castro
- Baculovirus, un patógeno versátil 26
Leonardo Miguel Gutiérrez Arellano, Francisco Villaseñor Verdín y Edén Ocegüera Contreras
- Colisiones de aves con ventanas 34
Miguel Ángel Gómez Martínez e Ian MacGregor Fors
- Estrategia para fomentar la investigación en la formación de docentes 40
María Elena Sinclair Baró y Arnold Ricardo García García
- Cambio climático, calentamiento global y efecto invernadero, ¿cuál es cuál? 48
Francisco Guerra Martínez
- El destino *in vitro* de una célula vegetal 56
Lilia Guadalupe Tamayo Torres y Kelly Maribel Monja Mio
- Ranas y sapos, el porqué de su conservación 64
Rogelio Manuel García Solís, Patricia Herrera Paniagua y Mónica Yanira Rodríguez Pérez
- Revalorización de residuos 72
Zulema Juárez Orozco, Juan Fernando García Trejo y Claudia Gutiérrez Antonio
- La selva de Los Tuxtlas: biodiversidad y artesanías 78
Rosamond Coates, Armando Aguirre Jaimes y Sara Canchola Orozco



De actualidad

- COVID-19: fortalezas y debilidades 87
Héctor Mayani y Patricia Piña Sánchez



Desde las redes

- Perseverar en el conocimiento de nuestro planeta vecino 91
- Leguminosas al rescate de los bosques tropicales 92
José Eduardo González Reyes



In memoriam

- Beatriz Barba 93
María Julia Hidalgo López



Política editorial

95



Portada: Shutterstock.



Separador: Rafael Mayani Parás.

ciencia, volumen 72, número 2, correspondiente a abril-junio de 2021, editado y distribuido por la Academia Mexicana de Ciencias, A. C. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Academia Mexicana de Ciencias. Queda prohibida la reproducción total o parcial del contenido por cualquier medio sin la autorización expresa de la Academia Mexicana de Ciencias. Certificado de Reserva de Derechos al uso exclusivo del título 04-2001-072510183000-102 expedido el 25 de julio de 2001 por el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Certificado de Licitud de Título y Contenido 17371 expedido por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. ISSN 1405-6550. Editor responsable: Francisco Salvador Mora Gallegos. Formación: Intidrinero, S.A. de C.V., tel.: 55-5575 5846. Correspondencia: Academia Mexicana de Ciencias, A. C., atención: Revista Ciencia, Casa Tlalpan, km 23.5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca, Av. Cipreses S/N, Col. San Andrés Totoltepec, Del. Tlalpan, C.P. 14400, Ciudad de México, tel.: 55-5849 4903, fax: 55-5849 5108, rciencia@unam.mx, <http://www.amc.mx>.

ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias
abril-junio 2021 volumen 72 número 2

Director fundador

Ignacio Bolívar Urrutia (1850-1944)

Director

Alonso Fernández Guasti

Comité editorial

Raúl Antonio Aguilar Roblero

Raúl Ávila

Ana Cecilia Noguez

Raymundo Cea

Deborah Dultzin

Alonso Fernández Guasti

Ronald Ferrera

Gerardo Gamba

Adolfo Guzmán

Juan Pedro Laclette San Román

Miguel Ángel Pérez de la Mora

Carlos Prieto de Castro

Sergio Sánchez Esquivel

Alicia Ziccardi

Editora

Rosanela Álvarez

Corrección de estilo y enlace con autores

Paula Buzo

Social Media

José Eduardo González Reyes

Diseño y formación

Intidrinero, S.A. de C.V.

Ilustradora

Ana Viniestra, pp. 11, 14, 19, 27, 39, 41, 64-65

Red

Walter Galván Tejada

Academia Mexicana de Ciencias, A.C.

Casa Tlalpan, km 23.5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca, Av. Cipreses S/N, Col. San Andrés Totoltepec, Del. Tlalpan, C.P. 14400, Ciudad de México
tel.: 5849 4903, fax: 5849 5108

www.revistaciencia.amc.edu.mx



@CienciaAMC

 **ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS**
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Coordinación de la
Investigación Científica UNAM

Este número de la revista *Ciencia* ha sido posible gracias al patrocinio del Instituto de Investigaciones Jurídicas y de la Coordinación de Investigación Científica de la UNAM.

Desde el Comité Editorial



Una nueva época de la revista *Ciencia*

Queridos lectores y amigos: este nuevo número de la revista *Ciencia* inaugura una nueva etapa de su larga vida. El doctor Miguel Pérez de la Mora, su director desde marzo de 2000 y hasta principios de 2021, se despide de la dirección de la revista señalando:

Me pesa, por un lado, después de más de 20 años de esfuerzos continuados, dejar la dirección de nuestra querida revista *Ciencia*, tras haberla colocado, con el auxilio de un Comité Editorial imaginativo y un creativo equipo de producción, como una de las mejores revistas de divulgación de nuestro país.

Esperemos que *Ciencia* se mantenga como uno de los órganos de difusión científica más prestigiados. En esta nueva etapa, la revista se publicará exclusivamente en forma electrónica y será de acceso libre, de tal manera que queremos alcanzar a más lectores, de preferencia jóvenes. Mantendremos, por fortuna, al excelente equipo de producción y continuaremos haciendo una extensa difusión de nuestro quehacer en redes sociales y publicando secciones temáticas que han resultado de interés para nuestro público. Como ejemplo, durante la pandemia de COVID-19, hemos decidido incluir en todos nuestros números, dentro de la sección De Actualidad, al menos un artículo que se refiera al tema.

El nuevo director de *Ciencia*, el doctor Alonso Fernández Guasti, quien fuera miembro de su Comité Editorial, agradece a los patrocinadores actuales de la revista: al Instituto de Investigaciones Jurídicas y a la Coordinación de la Investigación Científica –dependencias de la UNAM–, encabezadas por los doctores Pedro Salazar Ugarte y William Lee Alardín, respectivamente. También aprovecha este espacio para reconocer a los miembros del Comité Editorial, al equipo de producción y al Consejo Directivo de la Academia Mexicana de Ciencias por depositarle su confianza.

Queridos amigos de *Ciencia*: todos los que tenemos el gusto de colaborar en esta publicación estamos conscientes de que quienes le dan vida a nuestra revista son ustedes, las personas que la leen y quienes escriben sus artículos. Les agradeceremos de corazón que nos acompañen en esta nueva época.

Por último, no deseamos abandonar este espacio sin decirles que nos embarga una profunda tristeza por el fallecimiento de la doctora Beatriz Barba Ahuatzin, quien fuera parte de nuestro Comité Editorial. Los invitamos a conocer, dentro de este número, y en palabras de María Julia Hidalgo, un texto de homenaje a nuestra colega.

MIGUEL PÉREZ DE LA MORA
ALONSO FERNÁNDEZ GUASTI

Emiliano Tesoro Cruz, Sandra A. Rojas Osornio y Vilma Carolina Bekker Méndez

Serotonina, depresión y suicidio

La depresión y el suicidio se han convertido en algo trivial. Sin embargo, su complejidad requiere un análisis desde distintos enfoques para considerar que las capacidades biológicas de una persona están gobernadas por su genética e influenciadas no sólo por otras enfermedades o trastornos psiquiátricos, sino por otros aspectos de su ambiente que dan lugar a la depresión y a la conducta suicida.

Hablar sobre ansiedad o estrés, depresión y suicidio en los tiempos que vivimos se ha convertido en algo trivial. Como muestra de ello, frecuentemente nos enteramos por los medios de comunicación sobre la muerte de alguna persona famosa, o incluso de alguien que conocemos, ocurrida como resultado de su suicidio. La pregunta inmediata que surge, en particular para el caso de los famosos, es: ¿por qué alguien con tanta prestancia, fortuna y popularidad ha cometido tal acción? La respuesta es compleja, pues en dicho acto participan e interactúan numerosos factores. En el presente artículo analizaremos algunos con mayor o menor profundidad.

Depresión y suicidio

La depresión ha sido reconocida en los últimos años como una causa importante de la comisión de suicidios. Dicho trastorno es una enfermedad mental que en el mundo origina numerosos problemas de salud y discapacidad (Ferrari y cols., 2013). La depresión confiere a la población que la padece, como rasgo fundamental, la incapacidad de sentir placer, denominada en términos médicos como anhedonia. El padecimiento se caracteriza además por la presencia de tristeza, de sentimientos de culpa o baja autoestima, de pérdida de interés por aquello que rodea a la persona, de trastornos del sueño y del apetito, así como de una sensación de cansancio y de una notoria falta de concentración.

Cabe señalar que más de 350 millones de personas en el mundo viven con depresión (Ferrari y cols., 2013), sin que esta enfermedad distinga sexo, raza, edad o condición socioeconómica, por lo que puede afectar a cualquiera. La depresión



va más allá de un simple estado de ánimo y repercute en la capacidad para llevar a cabo tareas cotidianas, provoca angustia y tiene efectos nefastos sobre las relaciones con la familia y las amistades.

En los últimos años, la depresión ha tendido a crecer en México y se ubica entre las principales causas de atención en la consulta externa del Instituto Mexicano del Seguro Social, del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado, así como de los hospitales públicos, tanto de la Secretaría de Salud federal como de los gobiernos estatales. Se calcula, de acuerdo con cifras del sector salud, que entre 2.5% y 3% de la población de la República Mexicana (alrededor de 3 millones de personas) sufre de depresión, desde casos leves hasta graves, y se estima que 25 millones de mexicanos podrían desarrollar este trastorno en el futuro cercano. Datos recientes acerca de la salud de la población mexicana muestran cómo las enfermedades mentales, por su curso crónico y por la falta de tratamiento en gran parte de los casos, provocan una discapacidad mayor en comparación con muchas otras enfermedades crónicas de las llamadas orgánicas o somáticas.

Según información de la Organización Mundial de la Salud (OMS), las personas con trastornos mentales no tratadas representan 13% del total de la carga de la **morbilidad** mundial; asimismo, la depresión está en el tercer lugar entre las causas de enfermedad. Dicho trastorno tiene un mayor impacto en los países de ingresos medios –como México– y se considera que, de no hacer algo, para el 2030 podría ser la principal causa de morbilidad en todo el mundo.

Por otro lado, también de acuerdo con datos de la OMS, cada año se suicidan cerca de 800 000 personas; actualmente es la segunda causa de muerte en la población de jóvenes con edades comprendidas entre los 15 y los 29 años. En más de 50% de los casos no recibieron ningún tipo de tratamiento. En México, la información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía indica, a su vez, que la tasa de suicidio ha aumentado considerablemente en los últimos 20 años, pasando de un poco más de 2 500 casos registrados en 1994 a 6 425 casos en 2015. En 2017 la tasa de suicidio fue de 5.2 por cada 100 000 habitantes; la tasa más alta

de suicidio correspondió a la población de entre 20 y 24 años, con 9.3 por cada 100 000 jóvenes.

Aproximadamente, 5% de los hombres y 9% de las mujeres padecen episodios depresivos cada año (Ferrari y cols., 2013; Kessler y cols., 2005) y, en su forma más grave, el trastorno que llegan a presentar puede conducirlos al suicidio. Se estima que en 2015 hubo 788 000 suicidios en el mundo (Mangal, 2018), muchos de ellos ocurridos de manera impulsiva en momentos de crisis que merman la capacidad de los sujetos para afrontar problemas financieros, separaciones, alguna enfermedad debutante o situaciones que, aunque bien pudieran ser sobrellevadas por la mayoría, en individuos con trastornos depresivos los conducen a optar por el suicidio. Desde esta perspectiva, una persona susceptible o vulnerable será aquella que presenta un desequilibrio entre factores sociales adversos, psicológicos o genéticos, e interacciones inapropiadas entre éstos.

■ **Factores que contribuyen a la instalación de la depresión y llevan al suicidio**

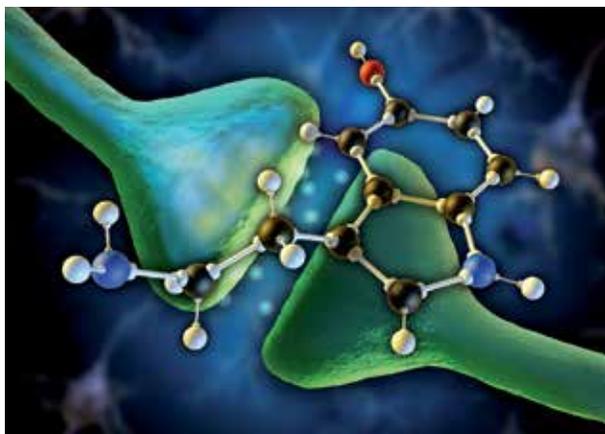
■ La biografía de diversas personalidades del medio artístico y la farándula que han cometido suicidio muestra que la gran mayoría a lo largo de su vida –pero básicamente en la infancia (durante la primera década)– sufrió algún evento que muy probablemente provocó un estado depresivo en los años subsiguientes tras obtener mayor conciencia de aquel acontecimiento catastrófico (por ejemplo, divorcio de los padres, abandono o inestabilidad por cambios constantes de residencia, abuso sexual, **bullying**), lo cual pudo llevarlos al consumo en exceso de sustancias como el alcohol, la heroína, el *crack* o los analgésicos opioides. En otros casos, el evento asociado fue un estado mental alterado por alguna patología conocida, pero no aceptada (convulsiones cerebrales por traumatismos craneales repetidos, anorexia o bulimia, trastorno de personalidad limítrofe, trastorno bipolar, enfermedad de Parkinson, demencia). Los probables detonantes se relacionaron con crisis financieras y con la pérdida de un familiar cercano. El principal mecanismo por el cual optaron estos personajes para el suicidio fue el ahorcamiento.

Morbilidad
Cantidad de personas que enferman en un lugar y un tiempo determinados en relación con el total de la población.

Bullying
Acoso físico o psicológico al que someten a un estudiante, de forma continuada, sus compañeros de escuela.

El origen de la depresión es desconocido; sin embargo, es muy posible que sus causas sean en realidad multifactoriales y que deriven muy probablemente de interacciones complejas entre los diversos aspectos que han sido identificados como contribuyentes en su **etiopatogenia** y, muy posiblemente, como lo hemos considerado antes, como causa del suicidio. A la cabeza de éstos se encuentra con una alta probabilidad el deterioro de la salud mental durante la primera década de la vida, dado que es una etapa clave para el desarrollo del pensamiento formal y en la que existe una gran actividad neuronal que puede verse influenciada por factores ambientales diversos. Adicionalmente, la actividad cerebral responsable del suicidio puede generarse más tardíamente como consecuencia del impacto de estados emocionales diversos, entre los que se cuenta el duelo por separación, el abuso sexual o el *bullying*. A estos factores se suman otras situaciones sociales adversas, como la desigualdad laboral, la discriminación, el desempleo, las catástrofes mundiales y un ambiente hostil.

De manera paralela a estos factores se han encontrado, en el ámbito de lo biológico, causas adicionales que involucran alteraciones en la **neurotransmisión** mediada por la serotonina, la dopamina, el funcionamiento del **eje hipotálamo-pituitaria-adrenal**, así como desbalances en las hormonas tiroideas, las del ciclo menstrual, del embarazo, del posparto y de la menopausia (Orri y cols., 2019). En ausencia de depresión, las causas que subyacen a la conducta suicida pudieran involucrar factores genéticos, pro-



pios de cada individuo y adquiridos por herencia en la población suicida (López-Narváez y cols., 2015) y la no suicida (Serretti y cols., 2011; López-Narváez y cols., 2015), entre los cuales se incluye la presencia de **polimorfismos** de varios genes cuya expresión podría estar modulada por diversos factores ambientales que dan lugar a la instalación de la depresión y, a la larga, llevan a la conducta suicida.

¿Pero cuál es el principio del fin?, ¿por qué algunas personas que han pasado por las mismas circunstancias adversas responden de manera tan diferente?

■ Papel del sistema serotoninérgico en la depresión y el suicidio

■ Como señalamos antes, se han invocado numerosos factores biológicos para explicar el binomio depresión-suicidio, pero de entre ellos destacan los que involucran variaciones en los genes que están relacionados con el sistema de neurotransmisión mediada por la serotonina, también llamada 5-hidroxi-triptamina (5-HT); por tal motivo, los consideraremos con relativa prolijidad en este artículo.

Así, de acuerdo con investigaciones recientes, se ha propuesto que existen variaciones polimórficas en algunos de los genes que contienen la información para la síntesis de varios componentes de este sistema serotoninérgico y que podrían conferir predisposición a sufrir trastornos depresivos y, a la larga, llevar al suicidio. De entre estos genes destaca el 5-HTR2A, el cual codifica para la síntesis de uno de los receptores que se une a la serotonina en el cerebro, así como otro gen, el SLC6A4, que lleva la información para la síntesis del transportador encargado de eliminar a este neurotransmisor una vez que ha sido liberado en la **sinapsis** y ha actuado sobre sus receptores. Adicionalmente, hay polimorfismos del gen que codifica para la síntesis de la enzima triptófano hidroxilasa 2 (TPH2), la cual determina cuánta serotonina se produce en el cerebro. Las neuronas que poseen tales polimorfismos se localizan en la región cerebral denominada **rafé mesencefálico**; desde ahí envían fibras nerviosas a diversas regiones del cerebro donde este neurotransmisor ejerce sus efectos.

Polimorfismos

Mutaciones específicas en algún gen que a veces producen un cambio en la expresión de una determinada proteína.

Etiopatogenia

Origen o causa del desarrollo de una patología.

Neurotransmisión

Transmisión de impulsos de una neurona a otra mediante sustancias químicas denominadas neurotransmisores.

Eje hipotálamo-pituitaria-adrenal

Conjunto complejo de influencias directas e interacciones retroalimentadas entre el hipotálamo, la glándula pituitaria y la glándula suprarrenal, el cual controla las reacciones al estrés.

Sinapsis

Región de comunicación entre la neurita o prolongación citoplasmática de una neurona y las dendritas o el cuerpo de otra.

Dado que se ha implicado a una menor producción de serotonina en la depresión, una versión alterada del gen que codifica para la TPH2 podría traer aparejada la disminución de la síntesis de este neurotransmisor, lo cual contribuiría a la instalación de un estado depresivo en los sujetos que padecen la enfermedad. No obstante, debemos tomar en cuenta que, muy probablemente, no es suficiente tener una versión incorrecta de este gen, sino que hace falta además estar expuestos a un entorno estresante (factores sociales y psicológicos adversos) durante el crecimiento para permitir el desarrollo de los trastornos depresivos en etapas posteriores de la vida.

Psique
Conjunto de procesos conscientes e inconscientes propios de la mente humana, en oposición a los que son puramente orgánicos.

Cabe señalar que, adicionalmente, las variaciones estructurales de la enzima TPH2 han generado un creciente interés científico, ya que en diversos trabajos se ha reportado la existencia de formas polimórficas múltiples de esta enzima relacionadas con otros padecimientos psiquiátricos, tales como el trastorno bipolar, la tendencia suicida, la esquizofrenia paranoide, el desorden obsesivo compulsivo y el trastorno depresivo mayor (Serretti y cols., 2011; Hasin y cols., 2018). Sin embargo, por lo que a este artículo concierne, los polimorfismos genéticos que afectan la expresión del gen que codifica para la TPH2 podrían dar lugar a una alteración de los procesos fisiológicos relacionados con la neurotransmisión mediada por la serotonina en algunas regiones clave del cerebro y predisponer de esta manera a la instalación de cuadros depresivos.

Comorbilidad
Cuando dos o más trastornos o enfermedades ocurren en la misma persona al mismo tiempo o uno después del otro.

Aunado a estos factores, un detonante en el entorno social del sujeto, como el consumo de sustan-

cias tóxicas (alcohol, fármacos como anfetaminas, barbitúricos, opioides, antidepresivos, o bien drogas como la heroína), haría que el individuo pareciera estar en un “pozo sin fondo” del cual no sabe cómo salir, ya que el problema habrá rebasado el control de su **psique** (crisis somática-emocional).

En vista de todo lo anterior, resulta en extremo interesante, para el tema de este trabajo, que en diversos estudios –incluido uno realizado en México– se ha reportado una variante genética para el gen que codifica para la TPH2 (polimorfismo rs7305115) asociada e implicada en la conducta suicida (Zhang y cols., 2010; De Lara y cols., 2007; López-Narváez y cols., 2015).

Por último, es importante señalar que existe una gran cantidad de casos reportados de **comorbilidad** que incluyen a la depresión y a diversas formas patológicas de la ansiedad, los cuales, de acuerdo con la OMS, tuvieron una prevalencia de 3.5% en 2015. En ello, se sospecha que pudiera estar implicada una desregulación del sistema serotoninérgico, la cual contribuiría en los individuos afectados por ambos trastornos a tornar más profundo el déficit en la neurotransmisión mediada por la serotonina.

Consideraciones finales

Con base en lo ya escrito, podemos señalar que aún no es muy claro en dónde ni cómo se inicia la depresión, pero sí podría preverse el posible desenlace (véase la Figura 1). A pesar de que la OMS ha



Figura 1. En el binomio depresión-suicidio participan diversos factores que interactúan en forma compleja.

reconocido ya al suicidio como una prioridad de salud pública y desde 2003 designó la fecha del 10 de septiembre como el Día Mundial para la Prevención del Suicidio, pocos países –por desgracia– la han incluido entre sus prioridades de salud; hoy día, tan sólo 38 gobiernos han notificado que cuentan con una estrategia nacional para su prevención. Por otro lado, respecto al Plan de Acción 2013-2020 de la OMS, sólo 33% de los Estados miembros de dicha organización recopilan datos específicos de manera periódica sobre la salud mental de sus habitantes, 68% tiene una política o plan de salud mental y 51% ha promulgado una legislación independiente en la materia. Cabe añadir que dicha organización ha destacado la función esencial de la salud mental en la consecución de la salud de todas las personas.

Entonces, es claro que, aun cuando la salud mental es importante, hay todavía un largo camino por recorrer hasta conseguir que su cuidado quede totalmente institucionalizado y se logren resolver muchos otros aspectos, entre los que se incluye el descuido de los servicios y la atención de la salud mental o las violaciones de los derechos humanos en forma de discriminación contra las personas que sufren trastornos mentales y poseen discapacidades psicosociales. Es importante señalar también que

se debe ahondar en los factores biológicos de esta enfermedad, pues éstos, así como el sistema serotoninérgico considerado en este trabajo, a manera de ejemplo, subyacen a la depresión y al suicidio. Uno de los objetivos es implementar estrategias terapéuticas que contribuyan a disminuir significativamente su prevalencia entre nuestra población.

Emiliano Tesoro Cruz

Unidad de Investigación Biomédica en Infectología e Inmunología, Hospital de Infectología, Centro Médico Nacional “La Raza”, Instituto Mexicano del Seguro Social.

emiliano_tesoro@hotmail.com

Sandra A. Rojas Osornio

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Medicina, Academia de Urgencias Médico Quirúrgicas, Instituto Politécnico Nacional.

sandii38@yahoo.com.mx

Vilma Carolina Bekker Méndez

Unidad de Investigación Biomédica en Infectología e Inmunología, Hospital de Infectología, Centro Médico Nacional “La Raza”, Instituto Mexicano del Seguro Social.

bekkermendez@yahoo.com

Referencias específicas

- De Lara, C., J. Brezo, G. Rouleau *et al.* (2007), “Effect of tryptophan hydroxylase-2 gene variants on suicide risk in major depression”, *Biol Psychiatry*, 62(1):72-80.
- Ferrari, A. J., F. J. Charlson, R. E. Norman *et al.* (2013). “Burden of depressive disorders by country, sex, age, and year: findings from the global burden of disease study 2010”, *PLoS Med*, 10(11):e1001547.
- Hasin, D. S., A. L. Sarvet, J. L. Meyers *et al.* (2018), “Epidemiology of Adult DSM-5 Major Depressive Disorder and Its Specifiers in the United States”, *JAMA Psychiatry*, 75(4):336-346.
- Kessler, D., D. Sharp y G. Lewis (2005), “Screening for depression in primary care”, *British Journal of General Practice*, 55(518):659-660.
- López-Narváez, M. L., C. A. Tovilla-Zárate, T. B. González-Castro *et al.* (2015), “Association analysis of TPH-1 and TPH-2 genes with suicidal behavior in patients with attempted suicide in Mexican population”, *Compr Psychiatry*, 61:72-77.
- Mangal, M. (2018), “¿Por qué la ola de suicidios entre famosos? Los expertos nos dan su opinión”, *People*. <https://peopleenespanol.com/celebridades/por-que-se-suicidan-los-artistas/>
- Orrri, M., M. C. Geoffroy, G. Turecki *et al.* (2019), “Contribution of genes and environment to the longitudinal association between childhood impulsive-aggression and suicidality in adolescence”, *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 61(6):711-720.
- Serretti, A., A. Chiesa, S. Porcelli *et al.* (2011), “Influence of TPH2 variants on diagnosis and response to treatment in patients with major depression, bipolar disorder and schizophrenia”, *Psychiatry Res*, 189(1):26-32.
- Zhang, Y., C. Zhang, G. Yuan *et al.* (2010), “Effect of tryptophan hydroxylase-2 rs7305115 SNP on suicide attempts risk in major depression”, *Behav Brain Funct*, 25:6-49.

Deicy María Matos Ríos, José María Ponce Ortega y Claudia Gutiérrez Antonio

Cadena de suministro para la producción de biocombustibles

En el mundo, las necesidades energéticas actuales continúan incrementándose debido al crecimiento tanto económico como poblacional. En este contexto, los biocombustibles representan una alternativa energética promisoría; no obstante, es necesario garantizar su cobertura y suministro mediante la implementación de la cadena de suministro de una forma efectiva y sustentable.

Introducción

Hoy día, el tema energético es de gran interés tanto por el cambio climático como por el incremento y la variabilidad de los precios de los combustibles fósiles. Lo anterior ha impulsado la búsqueda de fuentes energéticas alternativas que sean viables técnica y económicamente. Así, se ha trabajado en el aprovechamiento de la energía de la radiación solar, del viento, de las corrientes de agua, de las olas y de la biomasa, entre las más importantes. A partir de estas fuentes energéticas se busca producir electricidad, calor y combustibles para satisfacer las necesidades de la población, así como las de los sectores productivos.

En particular, el desarrollo del sector del transporte requiere de combustibles que sean renovables, por ejemplo, obtenidos del procesamiento de la biomasa; a dichos combustibles se les conoce como biocombustibles. En México se ha dado un fuerte impulso al desarrollo de los biocombustibles, debido a la adherencia al Protocolo de Kioto, así como a la Ley de Promoción de los Bioenergéticos. Asimismo, se ha creado el Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía (CEMIE-Bio), el cual tiene como objetivo desarrollar biocombustibles para coadyuvar a que, en 2027, 30% de la energía en México sea renovable. Dicho centro consta de clústeres, cada uno de los cuales realiza investigaciones en torno a los biocombustibles sólidos, bioalcoholes, biodiésel, biogás y bioturbosina.

De igual manera, se han implementado políticas para impulsar alternativas sustentables que permitan satisfacer la demanda energética y de combustibles. Por una parte, con ellas se debe regular el crecimiento de la producción de biocombustibles. Dado que éstos se producen a partir de biomasa, debe considerarse el cambio de uso del suelo agrícola o la incorporación de nuevas tierras para este fin, ya que



sin una regulación podrían ocasionarse problemas alimentarios, de destrucción del hábitat, así como de incremento de precios de los insumos utilizados.

Adicionalmente, la producción de biocombustibles a escala industrial requiere la implementación de la cadena de suministro. Esta última se define como el conjunto de eslabones que interactúan entre sí para entregar un bien o producto al mercado o a un cliente, desde su materia prima, transformación, transporte y hasta su consumo por el destinatario final (Tapia Becerra y cols., 2015). No obstante, resulta fundamental que la implementación de la cadena de suministro de biocombustibles (en adelante, CSB) sea sustentable, considerando los aspectos económicos, ambientales y sociales. Es decir, el establecimiento de la CSB debe minimizar y mitigar, en la medida de lo posible, los impactos al ambiente, dado que de esa manera se asegura la disponibilidad de recursos en el largo plazo. Asimismo, la implementación de la CSB debe maximizar el impacto social, mediante la generación de empleos bien remunerados que permitan mejorar la calidad de vida de las personas. De igual manera, se debe buscar que la CSB posibilite el crecimiento de los sectores económicos asociados. Por ello, esta cadena es fundamental para establecer de manera sustentable la producción y distribución de biocombustibles en el país.

En particular, los biocombustibles de mayor interés en México son biodiésel y bioturbosina para el reemplazo del diésel y la turbosina, respectivamente; además, el bioetanol se emplea como aditivo de la gasolina fósil, mientras que el biobutanol puede reemplazar a dicho combustible fósil. El establecimiento de la CSB permitirá contribuir con lo dispuesto en la política internacional para la disminución de gases de efecto invernadero, así como para prolongar las reservas petroleras de México; por otra parte, se logrará producirlos dentro del territorio cumpliendo estándares de índole nacional e internacional, pensando a mediano plazo en exportarlos a diferentes mercados en el mundo e introducirlos a la nueva industria de los biocombustibles (SENER, 2015).

Por lo anteriormente expuesto, resulta de vital importancia estudiar de manera detallada cada uno

de los eslabones de la CSB, lo cual permitirá facilitar la intervención adecuada para su desarrollo y crecimiento, mediante el equilibrio de factores ambientales, económicos y sociales. Así, en el presente artículo se revisarán los elementos de la CSB, mediante una breve descripción de los procesos de producción de los biocombustibles de interés en México. También se presentarán algunos aspectos de sustentabilidad que deben considerarse en la CSB.

■ Biomasa y biocombustibles

■ La biomasa se define como todo el material biológico generado en el **ciclo corto de carbono**, tales como semillas, granos, cultivos alimenticios, residuos orgánicos, aceite residual, cultivos no comestibles y algas, entre otros. La biomasa puede clasificarse de acuerdo con su naturaleza química en materia lignocelulósica, triglicéridos, así como azúcares y almidones (véase el artículo “Revalorización de residuos” en este número); de esta manera, dependiendo de su naturaleza química, la biomasa es transformada mediante diferentes procesos de conversión para generar energía térmica, eléctrica o biocombustibles (García Bustamante y Masera Cerutti, 2016).

Por otra parte, un biocombustible se define como todo aquel combustible que puede producirse directa o indirectamente a partir de la biomasa; los biocombustibles pueden presentarse en estado sólido, líquido o gaseoso. Entre los biocombustibles líquidos destacan principalmente el bioetanol, el biodiésel y la bioturbosina, los cuales poseen propiedades similares a los de origen fósil. El bioetanol es un alcohol que se obtiene mediante la fermentación de carbohidratos de la biomasa compuesta de almidones, azúcares o celulosa; en este proceso, los azúcares de la biomasa se transforman en alcoholes mediante la acción de los microorganismos. El biodiésel se obtiene mediante la transesterificación de aceites de origen animal o vegetal, la cual es una reacción química en la que los aceites se convierten en ésteres metílicos, compuestos que conforman el biodiésel. Por otra parte, la bioturbosina se obtiene mediante el hidrogenación de aceites vegetales, de residuos o grasas animales; esta tecnología permite transformar

Ciclo corto de carbono

Aquel en el que se genera el material biológico, con excepción del fosilizado.

los aceites en hidrocarburos mediante una reacción química con hidrógeno.

Ahora bien, en los diferentes procesos de producción de biocombustibles un aspecto muy importante es la disponibilidad de la biomasa. México es un territorio atractivo para la producción de biocombustibles por diversas razones, entre las que destacan la extensión disponible, el clima, así como el impulso que se ha dado para el cultivo de biomasa energética. En la Tabla 1 se presentan algunos de los potenciales cultivos en México para producir biocombustibles, así como la superficie con potencial productivo alto. Es importante aclarar que los datos que se muestran en la Tabla 1 representan la superficie donde las condiciones de tipo de suelo, altitud, precipitación, entre otros factores, son las más apropiadas para el crecimiento de dichos cultivos; no obstante, no se espera que toda esa superficie sea empleada para el cultivo de la biomasa para la producción de biocombustibles, dado que se desplazarían los cultivos alimenticios, lo cual representa un riesgo para la seguridad alimentaria. Asimismo, también debe prohibirse el cambio de uso de suelo de ecosistemas naturales (forestales) a plantaciones, ya que las afectaciones derivadas incluyen el aumento

de las emisiones de CO₂, la erosión de los suelos, así como la pérdida de la biodiversidad. Por ello, el uso de residuos agroindustriales se considera como una materia prima de gran potencial para la producción de biocombustibles.

Cadena de suministro del proceso de producción de biocombustibles

En esta sección se revisará la cadena de suministro de los biocombustibles (CSB), para lo cual se describirá el proceso global tanto de producción como de distribución. Primero, la biomasa (materia prima) debe ser cultivada o recolectada, para posteriormente utilizarla en la producción de biocombustibles mediante diferentes procesos de transformación, los cuales pueden ser físicos y químicos. Una vez que los biocombustibles han sido producidos, éstos deben ser distribuidos a los diferentes puntos de venta para que puedan ser suministrados al cliente final. Por ello, la CSB contempla tres eslabones principales: obtención o recolección de biomasa (materias primas), proceso de transformación de las materias primas y, por último, distribución de los biocombustibles hacia los puntos de venta (véase la Figura 1).

Tabla 1. Potencial productivo de cultivos aptos para la producción de biocombustibles en México.

| Cultivos | Biocombustibles | Potencial productivo alto (Ha) | Localización de las tierras con potencial productivo alto |
|---------------------|-------------------------|--------------------------------|---|
| caña de azúcar | bioetanol, biobutanol | 4 313 | 22 estados |
| higuerilla | biodiésel, bioturbosina | 6 345 | 28 estados |
| jatropha curcas | biodiésel, bioturbosina | 3 468 | 28 estados |
| palma de aceite | biodiésel, bioturbosina | 293 | 8 estados |
| remolacha azucarera | bioetanol, biobutanol | 2 008 | 32 estados |
| sorgo dulce | bioetanol, biobutanol | 2 200 | 22 estados |

Fuente: base de datos de la Red Mexicana de Bioenergía (2017).



Figura 1. Esquema de la cadena de suministro de biocombustibles (CSB).

El primer eslabón está relacionado con el cultivo o recolección de la biomasa, que representa la materia prima de los biocombustibles. En el caso del cultivo, debe tomarse en cuenta la disponibilidad de las tierras y el rendimiento, mientras que la disponibilidad debe considerarse para los residuos de todos los tipos. En ambos casos es necesario el transporte de las materias primas hacia los centros de procesamiento.

El segundo eslabón de la CSB es la transformación de la materia prima, lo cual incluye considerar las rutas de conversión, eficiencia energética de los procesos y rendimientos de los productos obtenidos. Cabe añadir que recientemente se ha propuesto el diseño de procesos que permitan el aprovechamiento completo de las materias primas; a dichos centros de procesamiento se les conoce como biorefinerías, con un enfoque similar al de las petrorefinerías, donde se procesa una sola materia prima y se obtiene una gran variedad de productos. Así, al disponer de va-



rios bioproductos, los precios son más competitivos, además de la gran ventaja de que dichos productos son de carácter renovable. El grupo de bioproductos incluye aquellos empleados en la industria farmacéutica (compuestos activos para medicamentos), alimenticia (nutrientes, aditivos) o química (bioplásticos). Sin embargo, esto implica un mayor reto para el transporte de los bioproductos, dado que incluyen diversos mercados y sitios de venta.

Por último, se tiene el eslabón de la logística para llevar los productos hasta el consumidor final, lo cual incluye una red de distribución, mezclas con los combustibles fósiles y almacenamiento (Barón y cols., 2013). Todos los eslabones de la CSB deben estar relacionados y comunicados hacia objetivos comunes que garanticen su continuidad y crecimiento en los aspectos económico, ambiental y social.

La CSB incluye decisiones relacionadas con el tipo de biomasa a seleccionar, cuánto y de qué lugar tomarla, qué tecnología de producción instalar, dónde establecer las plantas de procesamiento y con qué capacidad, qué tipo y cantidad de biocombustible entregar, y qué mercado satisfacer, con el fin de que la relación costo-beneficio de la producción de biocombustibles sea favorable (Fuentes Martínez, 2013). En el caso de las biorefinerías, el análisis también debe incluir los bioproductos derivados.

Ahora bien, la producción de biocombustibles depende principalmente del rendimiento de los procesos de transformación, así como de la disponibilidad de las materias primas. Por ello, se ha incentivado la inversión en estos aspectos, tanto para incrementar la producción de las materias primas como para desarrollar tecnologías eficientes de conversión; esto posibilitará que la oferta de biocombustibles pueda abastecer la demanda interna y, de ser factible, la externa. Con respecto a las materias primas se prefieren aquellas que sean residuos, o bien que sean cultivadas, pero que no compitan con la alimentación humana; esto permitirá generar los insumos necesarios sin poner en riesgo la seguridad alimentaria de los mexicanos. Asimismo, deben seleccionarse aquellas materias primas que tengan mayor potencial en una entidad en específico, en lugar de modificar los ecosistemas tratando de utilizar las materias primas



Figura 2. Cadena regional de suministro de biocombustibles.

novedosas. Así, los centros de procesamiento de la biomasa deben ser regionales, con el afán de disminuir tanto los costos de transporte como el impacto ambiental. Esto a su vez permitirá la activación de la economía regional, con un impacto positivo en la generación de empleos, con lo cual se beneficiará al sector social. La Figura 2 presenta la cadena regional de suministro de biocombustibles que incluye los flujos de materiales en cada uno de sus eslabones o actores.

Para el caso de México, la implementación de la CSB ha sido un proceso complejo. Lo anterior se debe a que el sector energético ha visto limitado el grado de inversión necesario para su desarrollo en todos los niveles; por ello, se llevó a cabo la reforma energética en aras de incrementar la inversión en este sector (Hernández Trejo, 2015).

Adicionalmente, se han realizado estudios interesantes mediante técnicas de programación matemática que analizan la CSB en el país con base en comportamientos lineales o no lineales que permiten obtener soluciones mediante estrategias de optimización determinísticas o disyuntivas (Ponce Ortega y Santibáñez Aguilar, 2019). Dichos estudios consideran la evaluación de riesgos financieros y la planificación óptima de la CSB bajo incertidumbre,

la cual está relacionada con la operación de la cadena y el riesgo asociado a su adecuada implementación, teniendo en cuenta la selección de materias primas, las rutas de procesamiento, los productos y subproductos a generarse, los sitios de recolección, procesamiento, almacenamiento y mercados, flujos de transportes, así como criterios de sustentabilidad. Este tipo de estudios se ha realizado en México bajo el liderazgo del investigador José María Ponce Ortega y su grupo de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; dichos estudios han abordado la planificación de la cadena óptima de suministros de bioenergía a partir de biomásas, incluidos bioproductos como bioetanol, biodiésel y bioturbosina a partir de biomásas alimenticias, no alimenticias, así como residuos agroindustriales (Ponce Ortega y Santibáñez Aguilar, 2019). En estos trabajos se determina la cadena óptima de suministros considerando objetivos económicos, ambientales y sociales.

Es de vital importancia que todos los actores involucrados en la CSB sepan en qué parte de la cadena intervienen; esto, para que la producción de los biocombustibles sea viable económica y ambientalmente (Lechuga Montenegro y García de la Cruz, 2010). De acuerdo con la Secretaría de Energía (SENER, 2015), el primer y segundo eslabón en la

cadena productiva deben estar respaldados por políticas públicas estables y deben incluir incentivos económicos, con los cuales resulte rentable la producción de biocombustibles a partir de la biomasa cultivada y transformada en México.

■ **Sustentabilidad de la cadena de suministros de biocombustibles**

■ Las preocupaciones en torno a la sustentabilidad ambiental relacionada con los biocombustibles incluyen los temas de emisiones de gases de efecto invernadero, uso y calidad de recursos hídricos, degradación del suelo y pérdida de la biodiversidad, principalmente en términos de sus impactos económicos, ambientales y sociales (Arteaga Espinoza, 2018). Por lo anterior, es importante que en el presente y en el futuro estas relaciones en la CSB sean indivisibles, pues el desequilibrio en una dimensión significa grandes impactos en las demás. En este sentido, las tecnologías de producción y logística de los sistemas agrícolas destinados a alimentos, productos no alimentarios y la energía deben ser abordadas desde la seguridad alimentaria, la producción de energía verde, el desarrollo de productos sustentables, la gestión de residuos y el reciclaje; de ahí que el enfoque de la CSB sea fundamental para integrar estos requerimientos en la producción agrícola, la transformación, la distribución y el consumo de los biocombustibles (Tapia Becerra y cols., 2015).

Si bien la sustentabilidad debe cuidarse en todos los eslabones de la CSB, resulta imprescindible en

el primer eslabón, relacionado con el cultivo o recolección de las biomásas. En este punto es importante señalar que, si bien las biomásas residuales no compiten por tierras, sí tienen emisiones de CO₂ asociadas con su transporte a los centros de procesamiento. Adicionalmente, las biomásas cultivadas requieren agua, nutrientes, fertilizantes y uso de maquinaria para su cosecha, lo cual incrementa su impacto ambiental. De ahí que sea relevante el establecimiento de las cadenas regionales de suministro, para así reducir al máximo los impactos ambientales y económicos asociados con el transporte de las materias primas.

En este contexto, la Mesa Redonda sobre Biomateriales (RSB, 2017) ha desarrollado, con un grupo interdisciplinario de expertos, el estándar de certificación RSB, el cual incluye los criterios y principios con los que se evalúa este enfoque triple en el que los biocombustibles serán ambientalmente correctos, socialmente justos y económicamente viables. Estos criterios apuntan de forma directa a la realización de actividades que competen a cada uno de los actores de la CSB; es decir, considera a todos los agentes involucrados en la generación del producto, ya que la certificación se otorga al producto y no a un actor de la cadena como tal. Dichas acciones están enfocadas para minimizar y restaurar los impactos ambientales y sociales de la producción de biomateriales.

El cumplimiento del estándar de certificación RSB implica un reto muy fuerte, especialmente en México, dado que, si bien los biocombustibles son renovables, no necesariamente son sustentables. Es decir, si en la producción de un biocombustible se emplea una cantidad de energía mayor a la que puede proporcionar dicho combustible, sin lugar a duda, el proceso no es sustentable. O bien, si se realiza un cambio de uso de suelo o la destrucción de un hábitat para cultivar la biomasa necesaria para producir un biocombustible, entonces éste no es sustentable. Los principios que se integran en el estándar incluyen cuestiones legales, mitigación del impacto ambiental, derechos humanos, derechos laborales, así como de impacto social. Cabe mencionar que estos estándares se han armonizado con los reglamentos y las leyes aplicables en cada uno de los países.



Conclusiones

La cadena de suministro es una pieza clave para lograr la producción y distribución de los biocombustibles en México. Los principales eslabones de dicha cadena involucran la producción de las materias primas, su procesamiento y la distribución de los productos hacia el mercado. Por ello, muchas actividades deben llevarse a cabo de manera coordinada por los múltiples actores involucrados. Asimismo, debe buscarse garantizar la sustentabilidad, minimizar el impacto ambiental y maximizar los beneficios económicos y sociales. Cabe añadir que las políticas en materia de impulso al desarrollo y la promoción de los bioenergéticos resultan fundamentales para el exitoso establecimiento de la cadena.

Los autores agradecen el apoyo financiero brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), mediante el proyecto 279753. Asimismo, Deicy María Matos Ríos recibe una beca SENER-Conacyt para la realización de sus estudios de posgrado.

Deicy María Matos Ríos

Universidad Autónoma de Querétaro.

deymatt@hotmail.com

José María Ponce Ortega

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

jose_maria_ponce@yahoo.com

Claudia Gutiérrez Antonio

Universidad Autónoma de Querétaro.

claudia.gutierrez@uaq.mx

Referencias específicas

- Arteaga Espinoza, L. (2018), *Desarrollo de una metodología para el diseño del proceso de producción sustentable de bioturbosina* (tesis de licenciatura), México, Instituto Politécnico Nacional.
- Barón M., I. Huertas y J. Orjuela (2013), “Gestión de la cadena de abastecimiento del biodiésel: una revisión de la literatura”, *Ingeniería*, 18(1):84-117.
- Fuentes Martínez, E. F. (2013), *Gestión de biocombustibles en México: caso del biodiésel* (tesis de maestría), México, Instituto Politécnico Nacional.
- García Bustamante, C. A. y O. Masera Cerutti (2016), *Estado del Arte de la Bioenergía en México. Red Temática de Bioenergía (RTB) del Conacyt*, Guadalajara: Imagia Comunicación.
- Hernández Trejo, L. D. (2015), *Estudio sobre la calidad y sustentabilidad de la bioturbosina en México* (tesis de licenciatura), México, Instituto Politécnico Nacional.
- Lechuga Montenegro, J. y F. García de la Cruz (2010), “Biocombustibles: el debate internacional y el caso de México”, *Ensayos de Economía*, 37:131-155.
- Ponce Ortega, J. M. y J. E. Santibáñez Aguilar (2019), *Strategic Planning for the Sustainable Production of Biofuels*, Países Bajos, Elsevier.
- Roundtable on Sustainable Biomaterials (2017), *A guide to the RSB standard*, Ginebra, Roundtable on Sustainable Biomaterials.
- SENER (2015), *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*, México, Secretaría de Energía. Disponible en: <<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/249/PEAER-2014.pdf>>, consultado el 1 de marzo de 2021.
- Tapia Becerra, L. M., J. Acevedo Chedid, H. Araméndiz Tatis y J. Ararat Herrera (2015), “La sostenibilidad en el diseño de cadenas de suministro de biocombustibles”, *Revista Ingenierías*, 14(26):57-72.

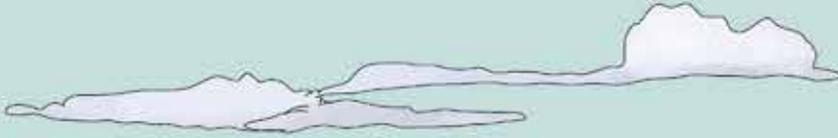
Combustible de aviación a partir de residuos avícolas

La bioturbosina es un combustible renovable para el sector de la aviación, producido a partir de distintos tipos de biomasa. La grasa de pollo es un tipo de biomasa, por lo que este residuo puede convertirse en bioturbosina mediante un proceso denominado hidrotatamiento. En el presente artículo se analiza el potencial de producción de bioturbosina en México a partir de esta materia prima.

Introducción

Cada 18 de marzo se celebra el día de la expropiación petrolera, un acontecimiento que influyó de manera significativa en la economía mexicana. En 1938 la clase obrera reclamaba sus prestaciones laborales, pero cuando las empresas privadas se negaron a dichas peticiones, el entonces presidente Lázaro Cárdenas intervino: en la noche del 18 de marzo, en la radio nacional, leyó el decreto de la expropiación petrolera, el cual validó el artículo 27 de la Constitución, que establece que son propiedad de la nación todos los recursos naturales de la plataforma continental, así como sus yacimientos minerales u orgánicos de materias susceptibles de ser utilizadas como fertilizantes, combustibles minerales sólidos, petróleo y todos los hidrocarburos sólidos, líquidos o gaseosos. En particular, con respecto a los hidrocarburos líquidos, en 1971 un pescador llamado Rudesindo Cantarell descubrió el yacimiento de petróleo más grande de América y el segundo del mundo; este evento tan relevante representa un punto clave para la economía mexicana, gracias a que originó un considerable incremento en la producción de crudo. No obstante, hoy día en el yacimiento Cantarell sólo se producen 200 000 barriles de petróleo al día, en comparación con los dos millones de barriles diarios que se lograron extraer cuando éste se encontraba en su mejor momento.

Los acontecimientos descritos anteriormente fueron claves para la producción de petróleo y sus derivados en México y, en especial, para la generación de energía y la de combustibles. En este contexto, los pronósticos indican que, debido al incremento poblacional, la cantidad de energía requerida para la vida diaria y el desarrollo de los sectores económicos será cada vez mayor. Sin embargo, actualmente la producción de petróleo en México se encuentra en declive; en la Figura 1



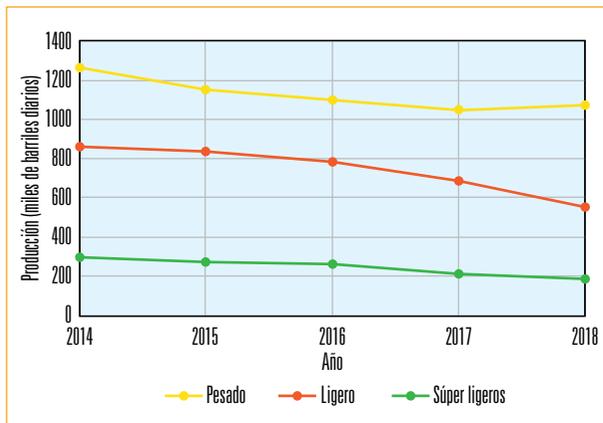


Figura 1. Producción de hidrocarburos en México en el periodo 2014-2018.

se muestra que en 2018 hubo una disminución de 36% en la producción de hidrocarburos súper ligeros (nafta, queroseno), de 37% en los hidrocarburos ligeros (gasolina, gas licuado) y de 15% en los hidrocarburos pesados (asfaltos, combustóleo pesado), con respecto a 2014 (Pemex, 2019). Adicionalmente, el uso intensivo de los combustibles derivados del petróleo ha ocasionado fuertes problemas ambientales por la acumulación de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, lo cual agrava el problema del cambio climático a escala global.

En este contexto, se hace necesario encontrar fuentes alternas de energía que ayuden a satisfacer la demanda en el país y, de forma simultánea, combatir el problema ambiental que el uso de combustibles fósiles origina. Uno de los sectores que más impacto sufre debido a la disminución en la producción de derivados del petróleo, así como a la variación en sus precios, es el transporte, tanto aéreo como terrestre. En particular, en el sector de la aviación, en los últimos años se ha observado un incremento significativo en el consumo de combustible conocido como queroseno o turbosina; en México, el consumo de queroseno durante 2015 fue de 4095 millones de litros, mientras que en 2016 fue de 4425 millones de litros (Datos Abiertos de México, 2019). Además, los pronósticos indican que el consumo energético del sector de la aviación incrementará entre 80% y 130% para las siguientes décadas, lo que acarreará un crecimiento de entre 16% y hasta 79% en emisiones de CO₂ que contribuirán al proble-

ma del calentamiento global (Gutiérrez-Antonio y cols., 2017).

Actualmente, la Agencia Internacional de Transporte Aéreo (IATA) promueve la generación de combustibles de aviación renovables y sustentables, con el objetivo de mitigar el problema de emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la variabilidad de los precios del combustible. Dichos combustibles de aviación pueden generarse a partir de la biomasa, la cual incluye a toda la materia orgánica generada por plantas y animales, así como sus residuos. Existen diferentes tipos de biomasa que han sido explorados para la producción de bioturbosina, tales como maderas, aceites de semillas como *Jatropha curcas*, desechos animales, tejidos adiposos, aceites de desecho de restaurantes y cocinas, residuos agrícolas, e incluso desechos sólidos municipales.

En diversas investigaciones realizadas en la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) se ha observado que, en la cadena de suministro, la producción de la biomasa es el factor que más contribuye al costo del biocombustible (Gutiérrez-Antonio y cols., 2017). Por ello, los aceites y las grasas residuales representan una solución para la producción sustentable y económicamente competitiva de la bioturbosina. Cabe aclarar que a temperatura ambiente el aceite es líquido y la grasa es sólida, pero ambos son materia orgánica constituida por ácidos grasos y triglicéridos; asimismo, si la grasa sólida se calienta, es posible obtener aceite. Tanto los aceites como las grasas residuales implican un problema de disposición, por lo que su uso para la producción de bioturbosina permite convertir un problema en un combustible renovable. Por ello, este artículo se enfoca en el uso de la grasa de pollo para la producción de combustible renovable de aviación, proyecto que se encuentra actualmente en desarrollo en la UAQ.

■ ■ ■ Biocombustible de aviación

■ El combustible renovable para el sector de la aviación se conoce como bioturbosina o queroseno parafínico sintético. La bioturbosina es un combustible especial, ya que, a pesar de ser producido a partir de la biomasa, debe poseer las mismas propiedades

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de la turbosina (origen fósil) y la bioturbosina (origen biomasa).

| Propiedad | Turbosina | Bioturbosina (<i>Jatropha curcas</i>) |
|---------------------------------------|-----------|---|
| Tipo de combustible | Queroseno | Queroseno para-fínico sintético |
| Rango de ebullición (°C) | 170-300 | 172-243 |
| Temperatura de congelación (°C) | -47 | -57 |
| Densidad a 15 °C (kg/m ³) | 775-840 | 751-840 |
| Viscosidad a -20 °C | 8.0 | 3.66 |
| Contenido energético (MJ/kg) | 43.28 | 44.3 |

que la turbosina de origen fósil, o incluso superarlas (Gutiérrez-Antonio y cols., 2017). Lo anterior se debe a que las aeronaves de uso comercial están certificadas, por lo que emplear un combustible con propiedades diferentes conduciría a realizar modificaciones en los motores o en las estructuras de las aeronaves; ello implicaría que se tendría que certificar nuevamente toda la flota de aviones, con todos los costos y tiempos asociados. Por ello, la bioturbosina debe cumplir con el mismo estándar internacional que establece las propiedades fisicoquímicas de la turbosina de origen fósil; dicho estándar es la norma ASTM D7566 (ASTM, 2019). La Tabla 1 muestra que la bioturbosina posee propiedades superiores; por ejemplo, posee un contenido de energía mayor al de la turbosina de origen fósil.

La bioturbosina se produce mediante distintos procesos de conversión, cuyas características dependen de la naturaleza química de la materia prima (biomasa) que se emplee. Como se mencionó, este artículo se enfoca en la producción de bioturbosina a partir de grasas de pollo, las cuales, de acuerdo con su naturaleza química, se consideran como triglicéridos; en esta clasificación general se incluyen tanto los aceites como las grasas presentes en plantas y animales.

En particular, las grasas de pollo son residuos sólidos provenientes de la industria avícola. Estos re-

siduos son atractivos como materia prima para producir el combustible de aviación porque están disponibles todo el año y cada vez se generarán más debido al incremento en la demanda de alimentos ocasionado por el crecimiento poblacional.

Consideremos los datos: en México, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi, 2019), en 2015 había 119 938 473 habitantes; por otra parte, en 2018, la Unión Nacional de Avicultores estableció que hubo un consumo de 28.42 kg de pollo per cápita, lo cual permite calcular un consumo anual nacional de 3 408 651.403 toneladas de pollo. Es importante mencionar que se pronostica que la producción crece a un ritmo anual de 4%, sobre todo en las entidades líderes como Veracruz, Aguascalientes, Querétaro, Jalisco, Puebla, Chiapas y Guanajuato (Unión Nacional de Avicultores, 2018). En particular, en Querétaro hay 2 038 372 habitantes (Inegi, 2019), por lo que se estima un consumo total de 57 930.53 toneladas de pollo al año. Por otra parte, del peso total de la **canal** de pollo, 32.58% corresponde a tejido graso, mien-

Canal
Animal muerto sin patas, cabeza, intestinos, sangre ni plumas.



Catalizadores
Sustancias que permiten acelerar una reacción química.

tras que el resto es hueso y carne. Tomando en cuenta este dato, se estima que en Querétaro se generan anualmente 18 873.76 toneladas de grasa de pollo, mientras que en el país este valor es de 1 119 741.986 toneladas. Como puede observarse, tanto en el ámbito estatal como en el nacional existe una cantidad considerable de materia prima que puede emplearse para obtener bioturbosina, cuya ruta de conversión se describe a continuación.

■ Procesos de producción de bioturbosina

■ La bioturbosina puede producirse a partir de cualquier tipo de biomasa mediante diferentes rutas de procesamiento. De todos esos procesos, cinco de ellos se encuentran certificados de acuerdo con el estándar ASTM D7566 (ASTM, 2019): 1) proceso de gasificación seguido de la síntesis de Fischer-Tropsch; 2) hidroposeamiento de triglicéridos y ácidos grasos; 3) hidroposeamiento de azúcares fermentados; 4) querosenos sintetizados con aromáticos derivados por alquilación de aromáticos ligeros no provenientes del petróleo; y 5) alcohol a *jet* (combustible). En todos los procesos anteriormente mencionados, los términos “hidroposeamiento”, “gasificación”, “síntesis de Fischer-Tropsch”, así como “alquilación de aromáticos” se refieren a reacciones químicas mediante las cuales las biomazas se transforman en bioturbosina.

Los procesos certificados han sido estudiados por muchos investigadores, especialmente con el objetivo de analizar qué tan competitivos son entre ellos. Por ejemplo, Diederichs y cols. (2016) hicieron un estudio técnico-económico para la producción de bioturbosina a partir de materiales lignocelulósicos, aceites vegetales y azúcar de caña. Los resultados del estudio muestran que la materia prima y la inversión de capital fijo tienen la mayor influencia en el precio de venta del combustible; esto evidencia la necesidad de explorar la conversión de los residuos para la producción de bioturbosina. Por otra parte, también encontraron que el proceso con mayores costos de producción es la conversión bioquímica de material lignocelulósico hacia etanol para luego obtener la bioturbosina (alcohol a *jet*); mientras que

el proceso de menor costo de producción es el hidroposeamiento de triglicéridos, tecnología que permite convertir los aceites derivados de la grasa de pollo.

De manera específica, el proceso de hidrotreamiento también ha sido estudiado por Wang (2016), quien indica que el precio de la materia prima, la capacidad de la planta y los **catalizadores** empleados son parámetros que controlan el precio del biocombustible. En consecuencia, para producir un biocombustible competitivo, es necesario reducir el costo de la materia prima. Por ello, el hidroposeamiento de aceites de desecho es una de las alternativas más prometedoras para producir bioturbosina a un precio competitivo (Gutiérrez-Antonio y cols., 2017); dicho proceso se describe a continuación.

La conversión química de los triglicéridos presentes en la materia prima para obtener bioturbosina se lleva a cabo a través de reacciones de hidroxigenación, hidrosisomerización e hidrocraqueo, seguidas por la operación de destilación para separar, por medio de los diferentes puntos de ebullición, las fracciones obtenidas de las reacciones. En la Figura 2 se muestra el diagrama de bloques de dicho proceso, donde se pueden apreciar las distintas etapas antes mencionadas.

La reacción de hidroxigenación ocurre en el primer reactor; en esta reacción se emplea hidrógeno para convertir a los triglicéridos en cadenas largas de hidrocarburos. También en el primer reactor se elimina el oxígeno presente en los triglicéridos, mediante la formación de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), y monóxido de carbono (CO) (Gutiérrez-Antonio y cols., 2017). En seguida, en el segundo reactor, las cadenas largas de hidrocarburos

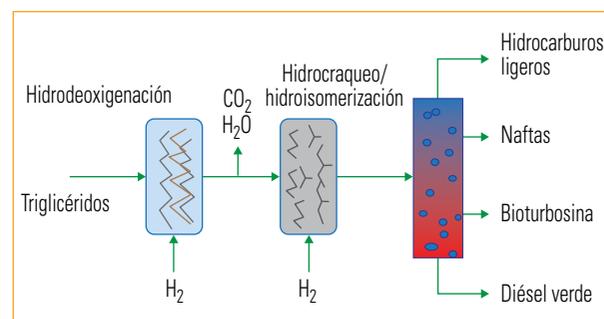


Figura 2. Proceso de hidrotreamiento para la producción de bioturbosina.

son recortadas para generar cadenas con longitud entre 8 y 16 carbonos, que son las que constituyen la bioturbosina. Además de la bioturbosina, se generan también gases ligeros, naftas y diésel verde, los cuales se separan mediante la tecnología de destilación. Éste es el proceso de hidrotratamiento convencional; sin embargo, recientemente Zhang y cols. (2017) reportaron un proceso en el que todas las reacciones se llevan a cabo en un solo reactor; este proceso se conoce como hidrotratamiento de un solo paso y se presenta en la Figura 3. El hidroprocesamiento de un solo paso permite reducir los costos asociados a la compra de los equipos, lo cual ayuda a tener un precio más competitivo para la bioturbosina.

Potencial de la producción de bioturbosina a partir de grasas de pollo

Como se mencionó anteriormente, en México se generan 1 119 741.986 toneladas de grasas de pollo. A partir de estos residuos se puede obtener aceite

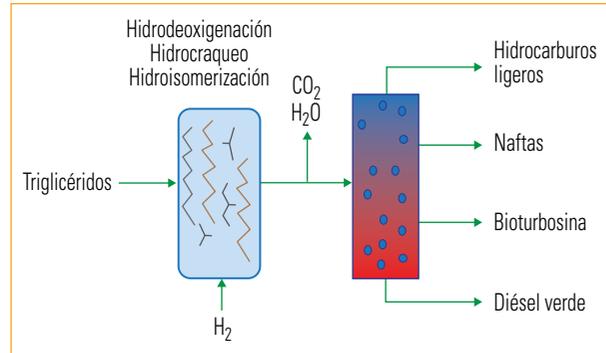


Figura 3. Proceso de hidrotratamiento en un solo paso para la producción de bioturbosina.

mediante su calentamiento. En la Figura 4 se observa un proceso simplificado de la obtención del aceite de la grasa de pollo: en el recuadro 1 se muestra la grasa de pollo sin procesar; en el recuadro 2 se muestra la obtención del aceite cuando se calienta la grasa; en el recuadro 3 se nota la separación del aceite y la grasa; en el recuadro 4 se puede observar el aceite obtenido.

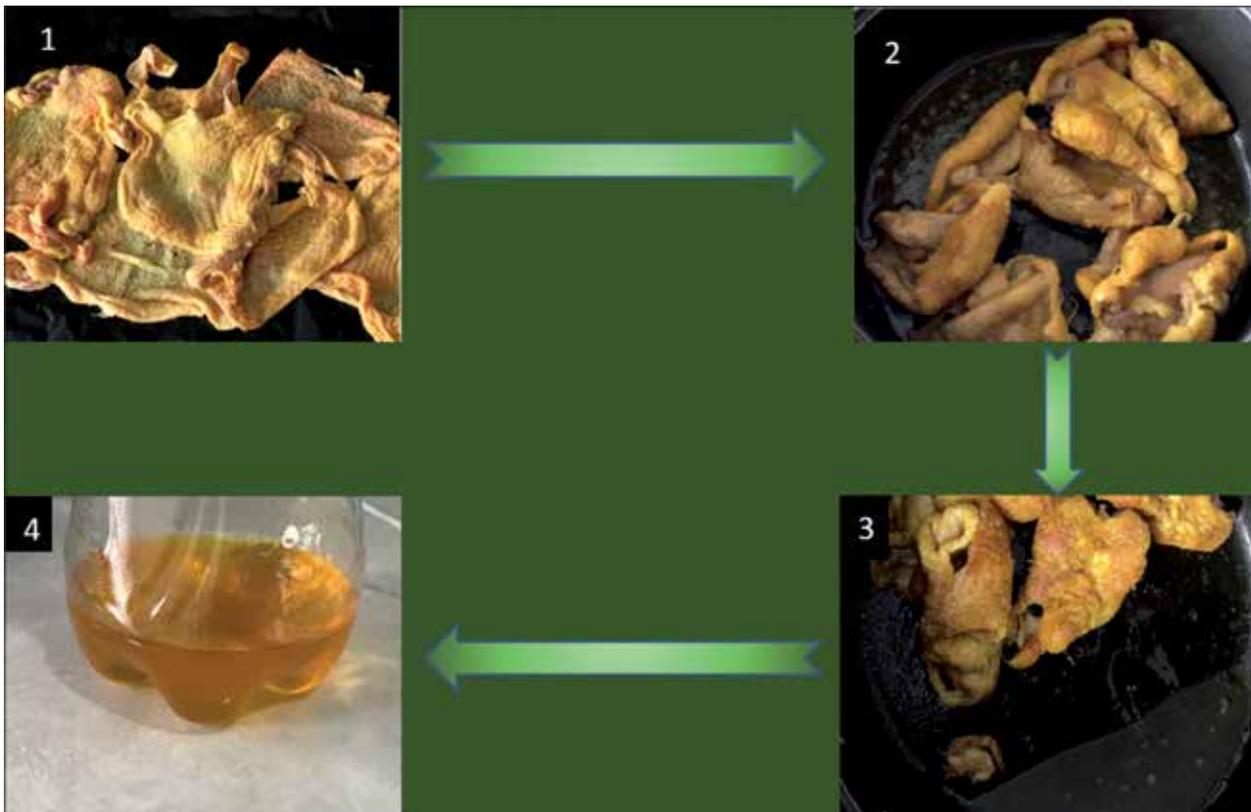


Figura 4. Proceso de obtención de aceite a partir de grasas de pollo.

El aceite resultante, en su mayoría, contiene triglicéridos y ácidos grasos libres, y en menor cantidad contiene agua e impurezas desconocidas (Kaewmeesri y cols., 2015). Para calcular el potencial de producción de bioturbosina se considera que el aceite está constituido por 93.3% de triglicéridos y 6.7% de ácidos grasos, y que se suministrará el hidrógeno necesario para llevar a cabo las reacciones de hidrotreamiento; los productos del hidrotreamiento incluyen gases ligeros, agua, nafta, bioturbosina y diésel verde. Considerando 1 119 741.986 toneladas de aceite se obtendrían 755 931 198 litros de bioturbosina al año. De acuerdo con los datos abiertos de aeropuertos y servicios auxiliares (Datos Abiertos de México, 2019), en el país se consumen 4 946 171 381 litros de turbosina al año, por lo que se podría suministrar un 15% de bioturbosina. De manera particular, en el estado de Querétaro, considerando 18 873.6 toneladas de aceite al año, se pueden producir 12 741 420 litros de bioturbosina anualmente. En 2018, en el aeropuerto de Querétaro

se consumieron 54 973 102 litros de turbosina, por lo que se podría abastecer un 23.18% de bioturbosina.

Es importante mencionar que, si bien el costo de las grasas de pollo es reducido, sí hay un costo asociado a su recolección y transporte. Por ello, es preferible realizar la recolección de dichos residuos de manera local, para así minimizar tanto el costo asociado al transporte como a las emisiones de CO₂ derivadas. Otro aspecto destacable es que, de forma adicional a la producción de bioturbosina, en el proceso de hidrotreamiento se generan otros combustibles que pueden comercializarse, como los gases ligeros y naftas para la producción de energía eléctrica, así como el diésel verde para el sector transporte, como reemplazo del diésel fósil.

Conclusiones

El sector de la aviación es uno de los más dinámicos en la actualidad, y los pronósticos indican que se requerirán grandes volúmenes de combustibles para



garantizar su crecimiento económico. Además, para que dicho crecimiento económico sea sostenible, es necesario producir combustibles renovables, conocidos como bioturbosina o queroseno parafínico sintético. La bioturbosina puede producirse a partir de cualquier tipo de biomasa; no obstante, las grasas de pollo representan una materia prima promisoría para esta producción, dado que son residuos que por su acumulación pueden ocasionar problemas de contaminación. Entonces, las grasas de pollo pueden convertirse en bioturbosina mediante el proceso de hidrotratamiento. Si bien la cantidad generada de residuos no es suficiente para abastecer 100% de la demanda nacional de combustible, se puede abastecer hasta 23% de dicha demanda. Asimismo, es una materia prima que, al generarse de manera habitual, permitirá garantizar el establecimiento de la cadena de suministro para la producción de este biocombustible.

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo financiero proporcionado mediante el proyecto 239765. Asimismo, Ana Laura Moreno recibe una beca SENER-Conacyt para la realización de sus estudios de posgrado.

Ana Laura Moreno Gómez

Universidad Autónoma de Querétaro.
ana_lauramx@hotmail.com

Claudia Gutiérrez Antonio

Universidad Autónoma de Querétaro.
claudia.gutierrez@uaq.mx

Fernando Israel Gómez-Castro

Universidad de Guanajuato.
fgomez@ugto.mx

Referencias específicas

- ASTM (2019), "ASTM D7566-19. Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons", *ASTM International*. Disponible en: <<https://www.astm.org/Standards/D7566.htm>>, consultado el 2 de marzo de 2021.
- Datos Abiertos de México (2019), "Aeropuertos y Servicios Auxiliares", *Datos Abiertos de México*. Disponible en: <<https://datos.gob.mx/busca/organization/asa>>, consultado el 2 de marzo de 2021.
- Diederichs, G. W. et al. (2016), "Techno-economic comparison of biojet fuel production from lignocellulose, vegetable oil and sugar cane juice", *Biore-source Technology*, 216:331-339.
- Gutiérrez-Antonio, C. et al. (2017), "A review on the production processes of renewable jet fuel", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79:709-729.
- Inegi (2019), "Población", *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>>, consultado el 2 de marzo de 2021.
- Kaewmeesri, R. et al. (2015), "Deoxygenation of Waste Chicken Fats to Green Diesel over Ni/Al₂O₃: Effect of Water and Free Fatty Acid Content", *Energy and Fuels*, 29(2): 833-840.
- Pemex (2019), "Estadísticas petroleras - mayo de 2019", *Petróleos Mexicanos*. Disponible en: <<https://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Paginas/Indicadores-Petroleros.aspx>>, consultado el 2 de marzo de 2021.
- Unión Nacional de Avicultores (2018), "Indicadores económicos", *Unión Nacional de Avicultores*. Disponible en: <<https://una.org.mx/indicadores-economicos/>>, consultado el 2 de marzo de 2021.
- Wang, W. C. (2016), "Techno-economic analysis of a bio-refinery process for producing Hydro-processed Renewable Jet fuel from Jatropha", *Renewable Energy*, 95: 63-73.
- Zhang, X. et al. (2017), "One-step preparation of biological aviation kerosene by catalytic hydrogenation of waste lard over Pt/SAPO-11", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 93(1):1-9.

Leonardo Miguel Gutiérrez Arellano, Francisco Villaseñor Verdín y Edén Ocegüera Contreras

Baculovirus, un patógeno versátil

Se presenta un recorrido a lo largo de la historia de los baculovirus; además de elucidar los pormenores del conocimiento de su taxonomía, de su estructura, de su proceso evolutivo y de su portentoso mecanismo de expresión, detallaremos las posibilidades que ofrecen para la industria agroquímica y farmacéutica, entre las cuales destacan la producción de insecticidas y la de vacunas recombinantes.

Un pasado tejido en seda

Una leyenda china refiere la curiosa serendipia en la que la emperatriz Xi Ling-Shi, durante alguna tarde del siglo XVII antes de nuestra era, inventó la sericultura. Se cuenta que, mientras descansaba bajo la sombra de una de las moreras de su palacio, un gusano cayó sobre su taza de té. Al tratar de retirarlo, notó que de éste nacía una fibra blanquecina. Tejedora hábil, a la emperatriz le atrajo la idea de comenzar a hilar la seda del gusano para crear la tela de sus futuros atuendos.

Respecto de *Bombyx mori*, el lepidóptero holometábolo y volador que después del descubrimiento de la emperatriz fue bautizado como gusano de seda, se han redactado cientos de manuales que describen su cuidado y crianza, así como tratados completos que detallan las enfermedades —ya sean de origen fúngico, bacteriano o vírico— que pueden afectar a esta especie.

Prácticamente desde los tiempos de la emperatriz Xi Ling-Shi se identificó una enfermedad del gusano de seda —conocida como *grasseire*— que lo torna amarillento y de apariencia hinchada. Además de reducir su capacidad de movilidad general, provoca espasmos involuntarios y repetitivos en la región cefálica. El insecto que la padece muere durante las primeras instancias del desarrollo de esta patología, bañado por un líquido de color albo secretado por él mismo.

Muchas fueron las especulaciones de sus posibles causas, pero no fue sino hasta la mitad del siglo XX de nuestra era cuando la identificación de ciertas estructuras proteicas en los tejidos de los gusanos infectados delató al culpable: un virus perteneciente a la familia Baculoviridae, el cual infecta al gusano *B. mori* después de que éste consume hojas contaminadas.



A lo largo del texto, hablaremos del origen y la taxonomía de los baculovirus, aspectos que fungen como una prueba de su relación coevolutiva con los insectos a los cuales infectan. Estos virus son poseedores de un portentoso mecanismo de expresión genética y tienen una posición central en los avances más recientes de la tecnología del **ADN recombinante**, lo cual ofrece grandes posibilidades en la industria agroquímica y farmacéutica.

ADN recombinante
Unión de secuencias de ADN provenientes de dos organismos distintos.

■ **Evolución y estructura: un asunto taxonómico**

■ Incapaces de echar a andar su maquinaria genética por ellos mismos, los virus precisan de un hospedante (también llamado huésped) para propagarse. Es por lo anterior que, al estudiar sus mecanismos de infección y su existencia en general, no se les puede separar de los organismos en los que residen. La evolución de la mayoría de los virus se entiende, por lo tanto, como una coevolución. El de los baculovirus no es un caso aislado.

ADN bicatenario
ADN de doble cadena, para diferenciarse de los virus de una sola cadena.

En 2011 Thézé y cols. estudiaron el origen paleozoico de los virus de **ADN bicatenario** que infectan a diversas especies de insectos; sus conclusiones son de gran interés para el tema de este artículo. Valiéndose de lo que ellos describieron como un enfoque **filogenómico**, establecieron de manera precisa la relación evolutiva entre tres grupos de virus que afectan a los insectos (también llamados entomopatógenos): los nudivirus, los bracovirus y los baculovirus.

Filogenómico
Se refiere al análisis de datos genómicos y reconstrucciones evolutivas.

Su estudio filogenómico se sustentó en un análisis estadístico por inferencia bayesiana. Una vez compilados los datos, concluyeron que los baculovirus, a pesar de pertenecer a una ramificación independiente de la de los nudivirus y de los bracovirus, poseen un antepasado en común con ellos, por lo que se puede aseverar que estos tres grupos de virus entomopatógenos son monofiléticos, es decir, comparten el mismo origen evolutivo. Asimismo, se propone que originalmente surgieron a la par de los insectos a los cuales infectan, hace 310 millones de años, durante el periodo carbonífero de la era paleozoica. Entonces, los baculovirus existen como tal a partir de que se diversificaron evolutivamente de sus dos primos más cercanos durante la era mesozoica;



Oruga infectada por el baculovirus.

dicha diversificación coincidió con el surgimiento de los insectos holometábolos, como es el caso de *B. mori*, el gusano de seda.

Con el avance de la microscopía en el siglo XX, se supo que *grasseire*, la enfermedad del gusano de seda estaba caracterizada por la presencia celular de prominentes estructuras denominadas cuerpos oclusivos, las cuales tenían forma de poliedro; debido a lo anterior, uno de los nombres alternos para el padecimiento fue poliedrosis.

Gracias a los estudios de Bergold (1947) se demostró la naturaleza vírica de dichas estructuras encontradas en las células analizadas de los insectos enfermos. En 1943 el mismo investigador publicó un

artículo en el que propuso que los cuerpos poliédricos eran acumulaciones cristalinas de un virus. Gracias al uso de la microscopía electrónica y de la técnica de ultracentrifugación, en 1947 pudo demostrar que los **viriones** con forma de varilla eran, en efecto, los agentes infecciosos implicados en el padecimiento de la poliedrosis.

En 1952 se propuso que había dos variantes de poliedrosis. En la primera de ellas, los cuerpos poliédricos se desarrollaban en el núcleo celular (*nuclear polyhedrosis virus*: NPV); en la segunda de ellas, lo hacían en el citoplasma (*cytoplasmic polyhedrosis virus*: CPV). Sin embargo, debido a la forma icosaédrica de su cápside, los CPV fueron identificados como cypovirus, miembros de la familia Reoviridae (Xeros, 1952).

Con anterioridad se había descrito la existencia de una nueva enfermedad en *Pieris brassicae*, conocida como mariposa de la col, la cual es una especie de lepidóptero de la familia Pieridae, en la que se reportó la presencia de cuerpos oclusivos de tamaño pequeño y forma granular, que posteriormente fueron llamados *granulosis virus* (GV); retomando estas aportaciones se formalizaron los dos grupos principales de la familia Baculoviridae: el de los nucleopoliedrovirus (NPV), cuyos cuerpos oclusivos son poliedros, y el de los granulovirus (GV), cuyos cuerpos oclusivos son gránulos.

La última disputa que surgió durante los intentos por clasificar a los baculovirus fue la de su propio nombre. Al menos hasta la mitad del siglo XX existía un **problema de sinonimia** con los términos usados para referirse a ellos. La mayoría de los nombres propuestos para la familia hacían referencia a investigadores que colaboraron en los esfuerzos para compren-

der su naturaleza: Bergoldiavirus, por ejemplo, hacía alusión a Gernot Bergold. Fue poco antes de 1974 cuando Mauro Martignoni propuso el nombre Baculoviridae a partir del latín *baculum*, que significa “bastón”; basó su elección etimológica en la forma que tienen los viriones de los baculovirus.

El nombre asignado para el baculovirus causante de la *grasseire* fue BmNPV. Se le clasificó tomando en cuenta que era un nucleopoliedrovirus (NPV), y se antepusieron las iniciales del género y la especie que afecta (*B. mori*). Así, por ejemplo, PlxyNPV es el nucleopoliedrovirus que infecta a la palomilla dorso de diamante, *Plutella xylostella*. Además, en el nombre se puede especificar si el virus en cuestión posee nucleocápsides compuestas o individuales al agregar una M (de *multiple*) o una S (de *single*), como sucede con el nucleopoliedrovirus múltiple de *Autographa californica* (AcMNPV) y con el nucleopoliedrovirus individual de *Heliocoverpa armigera* (HaSNPV). Así, todos los miembros de la familia Baculoviridae son nombrados siguiendo estos criterios.

Entomopatógenos fascinantes: cómo es la infección

En el ciclo de replicación de los baculovirus existen dos fenotipos expresables: el de los virus de gemación (*budded virus*: BV) y el de los virus derivados de oclusión (*occlusion-derived virus*: ODV). A pesar de que la cápside de ambos es muy similar, difieren en cuanto a su origen,

Viriones

Partícula vírica morfológicamente completa e infecciosa.

Problema de sinonimia

En taxonomía, se refiere a la existencia de más de un nombre científico para un mismo taxón.



morfología, composición molecular en la estructura proteica de la nucleocápside, tejido diana de acción y mecanismo general de infección. Los BV son producidos durante la etapa temprana del proceso de infección, y son los responsables de la propagación intercelular del baculovirus. Los ODV, en cambio, suelen ser producidos en la etapa más tardía del proceso de infección, y son los responsables de la propagación del virus en las larvas de los insectos (Kong y cols., 2018).

El ciclo de vida del baculovirus (véase la Figura 1) comprende las siguientes fases. En la primera, también conocida como fase inmediata, los poliedros ingeridos son solubilizados en el tracto digestivo medio del insecto, donde los ODV son liberados e infectan a las células epiteliales. Los viriones migran al núcleo celular –en este punto carecen de envoltura– y la transcripción y traducción de los genes virales comienza. Durante la etapa temprana, existe un rearrreglo estructural tanto del citoesqueleto como del núcleo, el genoma del hospedante es degradado y la replicación del ADN del baculovirus da inicio. En

la fase tardía, ocurre el ensamblaje de los brotes de nucleocápside a través del insecto mediante una infección secundaria. En la fase muy tardía, comienza la producción de una sustancia llamada poliedrina. Los viriones se acumulan en el núcleo y son ocluidos dentro del poliedro. Los cristales del poliedro se acumulan hasta que la larva se desintegra, con lo cual se liberan más cristales, que serán consumidos por otros insectos (Palomares y cols., 2015).

La poliedrina es soluble solamente en medios con alto pH, característico del tracto digestivo medio de las larvas, y los ODV son protegidos del ambiente por su oclusión dentro de la poliedrina. El segundo tipo de cápside brota a través de la membrana celular durante la fase tardía del ciclo de vida del baculovirus. Solamente los BV son infecciosos en cultivo celular. Cuando el baculovirus es expandido *in vitro*, los ODV no son infecciosos. Además, la protección de la poliedrina no es necesaria debido a que sus sistemas de expresión de proteínas recombinantes están basados en la replicación del gen *polh*. Mediante esta estrategia, grandes cantidades de proteínas recombinan-

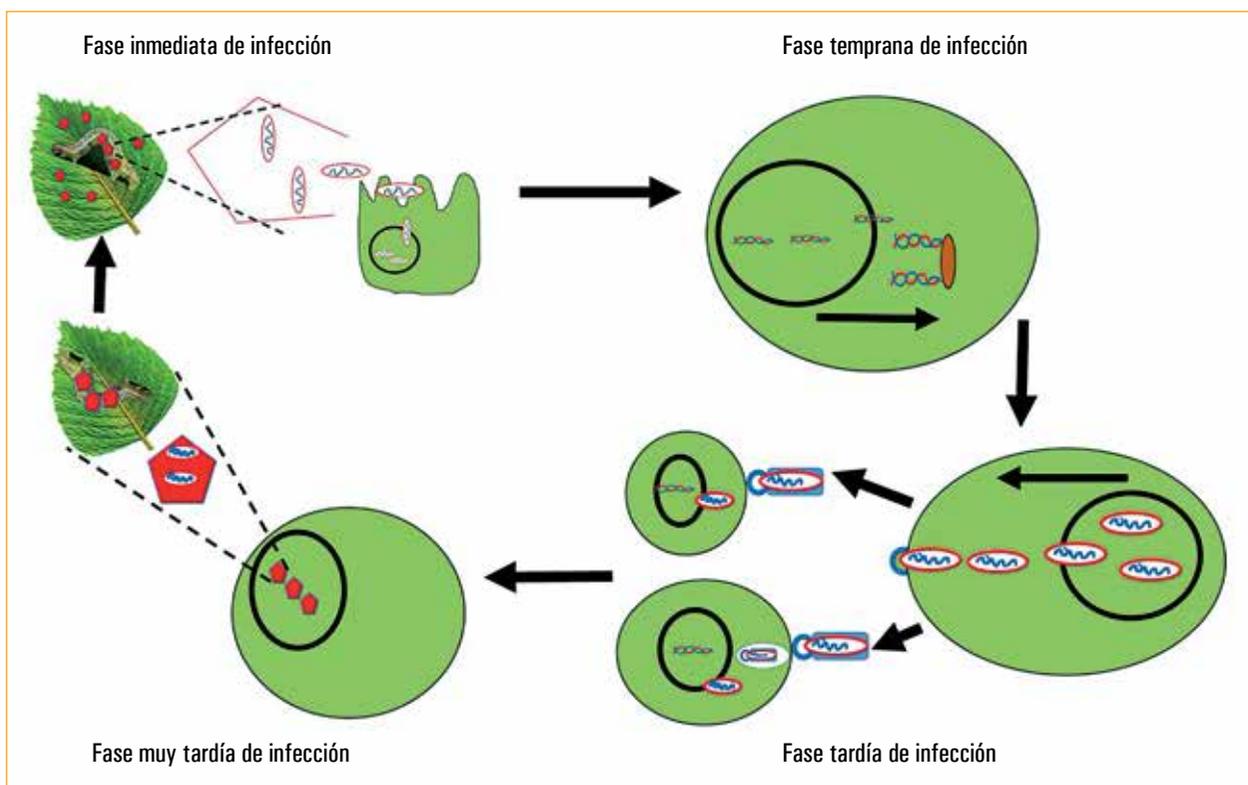
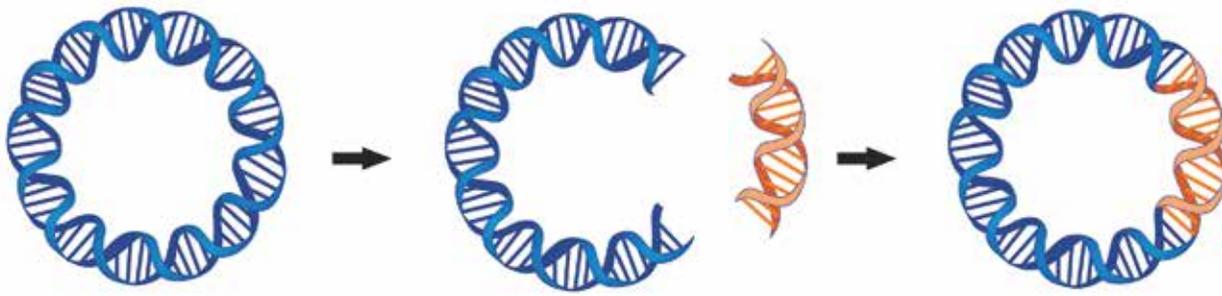


Figura 1. Ciclo de vida de los baculovirus. Modificado de Palomares y cols. (2015).



tes pueden ser obtenidas en una manera rápida, fácil y eficiente.

Baculovirus: del laboratorio a la industria

Los primeros esfuerzos de incorporación de ingeniería genética en baculovirus modificados estaban enfocados con precisión en el desarrollo de insecticidas para proteger cultivos. En 1994 se evaluaron las aptitudes como biopesticidas de dos variables de nucleopoliedrovirus de *A. californica*: la primera era un AcNPV “silvestre” y la otra era una versión modificada, en cuyo genoma se incluía una toxina de escorpión específica para atacar al lepidóptero *Trichoplusia ni*. Con dicho estudio se demostró la eficacia del AcNPV recombinante como pesticida, pues el daño causado por el insecto a los cultivos de col se redujo notablemente (Cory y cols., 1994). No obstante, surgieron ciertas alarmas del ámbito ético que frustraron la realización de investigaciones más profundas. Aunque se han hecho ensayos electrofisiológicos en los que se ha visto que la toxina recombinante solamente inhibe canales iónicos de insectos, mas no de mamíferos, aún falta buscar toxinas con este tipo de funcionalidad celular.

Por otra parte, uno de los hitos de la biología molecular consiste en la comprensión de los mecanismos de expresión del genoma de los virus, lo cual llevó a lograr el uso del ADN recombinante. De la misma manera en la que el equipo de Max Delbrück se valió del uso de bacteriófagos en la serie de experimentos que sentaron las bases de la genética de las bacterias, al inicio de la década de 1970 Paul Berg propuso al papovirus (SV-40) como un medio para estudiar la regulación y la expresión génica en los organismos eucariontes. Su plan era crear una téc-

nica de **transducción** basada en el papovirus, la cual permitiera añadir genes externos a la maquinaria replicacional y transcripcional de las células de mamíferos; el objetivo de lo anterior era diseñar moléculas de ADN infeccioso muy específicas.

De entre las generalidades del ADN recombinante, el componente que hace posible la clonación del gen deseado es conocido como vector. Lo que caracteriza a los vectores es que son autorreplicativos. Los vectores propuestos por Cohen y cols. (1973) eran los plásmidos, que son moléculas de ADN bicatenario y extracromosómico presentes en diversas bacterias, los cuales tienen un papel protagónico en los procesos de **reproducción horizontal**. La conjunción entre el vector y el gen aislado es lo que se llama ADN recombinante. Así, el gen se replica o se expresa dentro de un organismo distinto al que poseía originalmente dicha secuencia.

Además de los plásmidos, existen otros tipos de vectores que se pueden clasificar según su procedencia o su tamaño. Los virus son un tipo de vector muy diverso en cuanto a los organismos que utilizan como hospedantes para la expresión, ya que se puede trabajar con aquellos que infectan bacterias (como los ya mencionados bacteriófagos, a veces simplemente llamados *fagos*), plantas (como los gemnivirus), vertebrados (como el SV-40 con el que trabajó Berg) o invertebrados (los baculovirus son los vectores predilectos en este tipo de huéspedes). Gracias al avance en las técnicas de laboratorio, como la del ADN recombinante, la familia Baculoviridae ha comenzado a ser aprovechada ampliamente con diversos fines.

Por un lado, la creación de proteínas recombinantes ya ha resuelto problemas económicos y de salud pública con anterioridad; por ejemplo, las 10 proteínas recombinantes de mayor venta durante

Transducción

Proceso mediante el cual el ADN es transferido mediante la acción de un virus.

Reproducción horizontal

Mecanismo por el cual un organismo transfiere genes o genomas a células u organismos.

2009 sumaron un total de 50 000 millones de dólares en ventas, lo que representó casi la mitad de las reservas internacionales de México al 15 de septiembre de 2010. Por su parte, el uso de baculovirus como vectores para la expresión de genes tiene una cantidad delirante de usos industriales, entre los que destacan dos: la producción de insecticidas y la de vacunas recombinantes.

El sistema de expresión a base de células de insecto-baculovirus (BEVS, por sus siglas en inglés) consiste en una célula de insecto que es infectada con un baculovirus que contiene un gen de interés. Desarrollado por Gale Smith y Max Summers (Smith y cols., 1992), éste es un sistema altamente versátil que puede ser usado para la producción de una proteína recombinante, o bien para la expresión simultánea de varios genes. Tiene muchas ventajas que lo hacen ser un sistema de elección para su uso en múltiples aplicaciones, por ejemplo:

- Alta expresión del gen de interés: el baculovirus contiene uno de los **promotores** conocidos más fuertes, el promotor de polh.
- Seguridad: los procesos en los que se emplean los BEVS han sido clasificados con el nivel de bioseguridad 1.
- Modificaciones postraduccionales: las células de insecto pueden realizar la mayoría de las modificaciones postraduccionales de las proteínas eucariotas.
- Alta versatilidad: una sola línea celular y un solo esqueleto de baculovirus pueden ser usados para expresar cualquier gen deseado.
- Rápida expresión: la construcción de un baculovirus recombinante es un proceso estandarizado y puede ser eficientemente utilizado para producir una proteína recombinante en una semana con altos títulos de la proteína de interés.

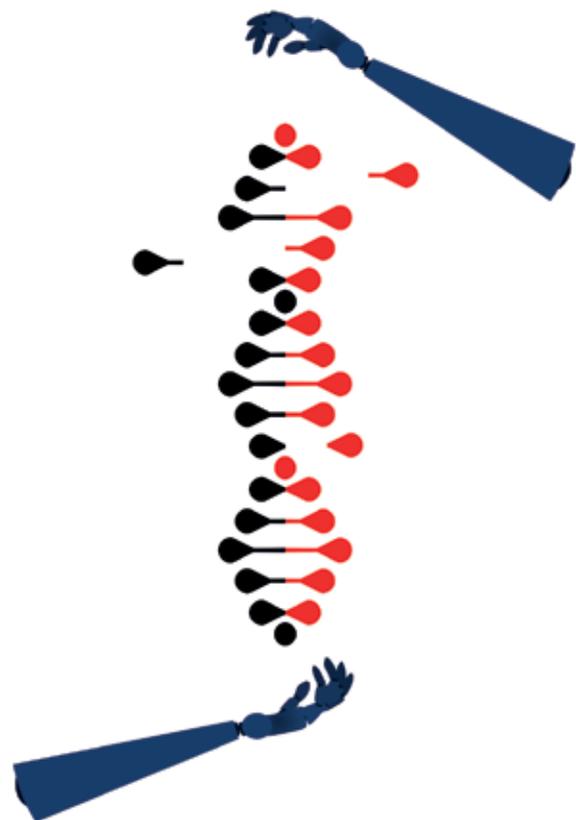
Estas ventajas han hecho que el uso de baculovirus no sólo sea para fines de laboratorio, sino también en la industria farmacéutica. Existen diversas plataformas moleculares que han utilizado BEVS como sistema de expresión de proteínas recombinantes, por mencionar algunas: Bayobac[®] CFS de Bayer, Porcilis[®]

Pesti y PCV de Intervet-Schering-Plough, Cervarix[®] de Glaxo Smith Kline, Provenge[®] de Dendreon, Best-H5[®] de Boehringer Ingelheim Vetmedica, Flublok[®] de Protein Sciences Corporation, y recientemente Novavax ha lanzado una vacuna muy prometedora contra el virus SARS-CoV-2, la cual pretende ser una opción más entre las vacunas que actualmente se encuentran en el mercado.

■ **Sobre el futuro: vectores BacMam**

Los BEVS han sido reingenierizados más allá de la expresión de proteínas en células de insecto; hoy día es posible entregar genes blanco a células de mamífero para la producción de proteínas y para posibles terapias génicas. A esta nueva plataforma molecular se le conoce como BacMam, en la cual el baculovirus recombinante contiene dentro del casete de expresión un promotor, ya sea de mamífero o de virus, donde se reemplaza el promotor polh u otros promotores del baculovirus. El BacMam recombinante llega a las células de los mamíferos por transducción

Promotor
Una región de ADN que controla la iniciación de la transcripción de un gen.



y permite la entrada del casete de expresión, pero no la replicación del baculovirus, debido a que los promotores de insecto no son activos en células de mamíferos.

Los BacMam recombinantes pueden ser producidos con cualquier plataforma BEVS, siempre y cuando el vector de transferencia contenga un promotor apropiado; el más frecuentemente utilizado es el promotor fuerte del citomegalovirus (CMV). Existe un ensayo que utilizó la transducción de un BacMam y logró satisfactoriamente la entrega de un gen blanco a todo un riñón porcino (Hitchman y cols., 2017). Esto nos abre las puertas para comenzar a realizar ensayos de terapia génica en humanos, con lo cual se puede acoplar ARN de interferencia (ARNi), contra interferones, para incrementar la transducción de virus y así aumentar la cantidad de proteína recombinante terapéutica deseada (Chavez-Pena y Kamen, 2018).

Leonardo Miguel Gutiérrez Arellano

Ingeniería en Sistemas Biológicos, Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara.
leomigutare@gmail.com

Francisco Villaseñor Verdín

Ingeniería en Sistemas Biológicos, Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara.
fvillasejunior@yahoo.com.mx

Edén Ocegüera Contreras

Laboratorio de Sistemas Biológicos, Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara.
eden.oceguera@academicos.udg.mx

Referencias específicas

- Bergold, G. (1947), "Die Isolierung des Polyeder-Virus und die Natur der Polyeder. Zeitschrift für Naturforsch", *Sect. B J. Chem. Sci.*, 2:122-143. Disponible en: <<https://doi.org/10.1515/znb-1947-3-408>>, consultado el 14 de febrero de 2021.
- Chavez-Pena, C. y A. A. Kamen (2018), "RNA interference technology to improve the baculovirus-insect cell expression system", *Biotechnol. Adv.*, 36(2): 443-451. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.01.008>>, consultado el 14 de febrero de 2021.
- Cohen, S. N., A. C. Y. Chang, H. W. Boyer y R. B. Hellington (1973), "Construction of biologically functional bacterial plasmids in vitro", *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 70:3240-3244. Disponible en: <<https://doi.org/10.1073/pnas.70.11.3240>>, consultado el 14 de febrero de 2021.
- Cory, J. S., M. L. Hirst, T. Williams, R. S. Hails *et al.* (1994), "Field trial of a genetically improved baculovirus insecticide", *Nature*, 370:138-140.
- Hitchman, E., R. B. Hitchman y L. A. King (2017), "BacMam Delivery of a Protective Gene to Reduce Renal Ischemia-Reperfusion Injury", *Hum. Gene Ther.*, 28:747-756. Disponible en: <<https://doi.org/10.1089/hum.2016.100>>, consultado el 14 de febrero de 2021.
- Kong, M., H. Zuo, F. Zhu, Z. Hu *et al.* (2018), "The interaction between baculoviruses and their insect hosts", *Dev. Comp. Immunol.*, 83:114-123. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.dci.2018.01.019>>, consultado el 14 de febrero de 2021.
- Palomares, L. A., M. Realpe y O. T. Ramírez (2015), "An Overview of Cell Culture Engineering for the Insect Cell-Baculovirus Expression Vector System (BEVS)", en M. Al-Rubeai (ed.), *Animal Cell Culture*, Cham, Springer, pp. 501-519. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10320-4_15>, consultado el 14 de febrero de 2021.
- Smith, G. E., M. D. Summers y M. J. Fraser (1992), "Production of human beta interferon in insect cells infected with a baculovirus expression vector 1983", *Biotechnology*, 24:434-443.
- Thézé, J., A. Bézier, G. Periquet, J. M. Drezen y E. A. Herniou (2011), "Paleozoic origin of insect large dsDNA viruses", *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 108: 15931-15935. Disponible en: <<https://doi.org/10.1073/pnas.1105580108>>, consultado el 14 de febrero de 2021.
- Xeros, N. (1952), "Cytoplasmic polyhedral virus diseases [8]", *Nature*, 170(4338):1073. Disponible en: <<https://doi.org/10.1038/1701073a0>>, consultado el 14 de febrero de 2021.

Miguel Ángel Gómez Martínez e Ian MacGregor Fors

Colisiones de aves con ventanas

Las colisiones de aves con ventanas son una de las principales causas antropogénicas directas de muerte de estos organismos. A pesar de la magnitud del problema a escala global con relación a la conservación, existe poca información obtenida fuera de Estados Unidos de América y Canadá. El incipiente conocimiento que se tiene en México apunta a la importancia de continuar estudiando este fenómeno.

Las colisiones con ventanas: causa alarmante de muerte de aves

Las colisiones de aves con las ventanas de los edificios han sido identificadas como la segunda causa de muerte antropogénica más importante, después de la depredación por gatos, al menos en aquellas regiones del mundo donde se cuenta con información suficiente para estimarlas. De acuerdo con datos obtenidos en áreas urbanas de Estados Unidos de América y Canadá, ocurren hasta mil millones de muertes de aves al año únicamente en estos dos países (Klem Jr., 1990; Loss y cols., 2014). Estas cifras son alarmantes y reflejan un severo problema para la conservación de muchas especies de aves que hasta la fecha pasa por desapercibido en varios lugares del mundo. Desafortunadamente, México no es la excepción.

¿Cómo y por qué ocurren las colisiones de aves con ventanas?

Las aves chocan con las ventanas debido a que son incapaces de identificarlas como un obstáculo, a pesar del material con el que estén fabricadas, sin importar que se trate de vidrio reflectante o transparente. De hecho, lo que ven las aves en las ventanas es la vegetación o el cielo reflejados en ellas. Si bien es común que las aves mueran inmediatamente debido al impacto, cuando el sitio del que vienen volando es cercano a la ventana el evento puede no ser mortal. En algunos casos pueden sobrevivir a la colisión, pero presentar traumatismos craneales o hemorragias internas que resulten ser fatales a la larga; asimismo, un ave que no muere inmediatamente por la colisión puede ser fácilmente atacada por algún depredador oportunista.





Figura 1. Vireo anteojo (*Vireo solitarius*) encontrado después de su colisión con una ventana en un edificio del norte la ciudad de Xalapa. Es notable la sangre que corre por su pico, claro indicativo de una colisión fatal. Foto: Moisés A. Ruiz Martínez.

■ **Causas de las colisiones**

■ Las colisiones de aves con las ventanas de los edificios ocurren mayormente durante el amanecer, cuando es el periodo de mayor actividad de estos organismos. De acuerdo con Hager y cols. (2013), las colisiones ocurren con mayor frecuencia durante las épocas migratorias de primavera y otoño. Por otro lado, también se ha observado que las aves pequeñas que migran durante la noche pueden ser atraídas por las luces de los edificios, y se han llegado a contabilizar centenas de colisiones en un único edificio durante una noche (por ejemplo, en la ciudad de Galveston, Texas, de acuerdo con Bartels, 2017).

La mayoría de los estudios relacionados con el tema se ha desarrollado a partir de la observación de lo que ocurre en los edificios altos de las áreas urbanas. Sin embargo, la evidencia apunta a que éstos son responsables de apenas una pequeña proporción de los accidentes en cuestión. En cambio, las casas habitación, en especial aquellas localizadas cerca de

áreas con gran cobertura vegetal, pueden llegar a representar la mayor proporción de colisiones en una ciudad (Machtans y cols., 2013). A pesar de esto, muy pocos estudios se han enfocado en este fenómeno en las casas particulares, por lo que la magnitud real del problema podría ser mucho más severa de lo que se ha calculado únicamente con base en estimaciones enfocadas en las colisiones que ocurren en los edificios y rascacielos.

■ **¿Algunas aves colisionan más que otras?**

■ Todas las aves son víctimas latentes de las colisiones con ventanas; no obstante, existe evidencia creciente de que algunas especies con características y conductas específicas tienen mayor vulnerabilidad a colisionar. De hecho, se ha registrado que determinados grupos de aves son víctimas recurrentes, como los zorzales y primavera (familia Turdidae), así como los colibríes (familia Trochilidae) y los chipes (familia Parulidae).

Por lo general, los zorzales y primavera se alimentan en áreas abiertas, pero si sus zonas de alimentación se encuentran cerca de los edificios —algo común en jardines y jardineras urbanas—, pueden colisionar durante los vuelos de huida producidos por la presencia de transeúntes o de algún depredador potencial. Respecto a los colibríes, éstos son víctimas mortales recurrentes debido a algunas de sus conductas, las cuales han sido catalogadas como de alto riesgo de colisión (alta velocidad de vuelo, seguimiento de rutas de alimentación).

En el caso de los chipes, una importante proporción de las especies migra durante la noche desde el centro de Canadá y el centro-sur de Estados Unidos de América hacia el norte de México y hasta el sur del continente. Cabe destacar que este tipo de aves migratorias utiliza las estrellas, entre otros factores, para orientar sus rutas de vuelo. Así, en sus travesías nocturnas, parece ser común que se vean atraídas hacia edificaciones debido a la presencia de luces artificiales nocturnas (Machtans y cols., 2013).

Adicionalmente, otro factor de riesgo asociado a las colisiones de aves con ventanas es la cantidad de individuos que se encuentran en la cercanía de los

edificios. Si a lo anterior se añaden factores como la presencia de atrayentes para las aves (por ejemplo, cuerpos de agua, fuentes de alimento, sitios de anidación), la tasa de colisiones puede incrementar considerablemente.

¿Qué ocurre en México?

■ En México habitan más de 1 000 especies de aves, lo que representa aproximadamente 11% de la avi-fauna global (Navarro-Sigüenza y cols., 2014). Por otro lado, nuestro país se encuentra en constante y creciente urbanización, lo cual plantea un escenario preocupante en cuanto a la colisión de aves con ventanas, entre otros efectos ecológicos.

A pesar de lo anteriormente expuesto, considerando la magnitud del problema de las colisiones con ventanas en otros países, en México se cuenta únicamente con tres estudios publicados que abordan este fenómeno. El primer trabajo consistió en una lista de especies que colisionaron con ventanas en el Centro Universitario de la Costa (Universidad de Guadalajara), localizado en Puerto Vallarta, Jalisco (Cupul-Magaña, 2003). En dicho estudio se registraron 15 especies de aves damnificadas y se identificó que la orientación de las ventanas podría tener un efecto en el fenómeno, principalmente relacionado con el tipo de reflejo de las ventanas dada su orientación. La segunda publicación es una lista similar realizada en el Campus Universitario Victoria, ubicado en Ciudad Victoria, Tamaulipas (Gómez-Moreno y cols., 2018). Los autores reportaron 16 especies de aves víctimas de colisión mortal con ventanas, la cual tendió a ser mayor en edificaciones de más de dos niveles. Además del aporte al conocimiento sobre el fenómeno, Gómez-Moreno y cols. (2018) reconocen un importante problema relacionado con la subestimación de las colisiones de aves con ventanas: la remoción de cadáveres por parte de la fauna nativa (por ejemplo, mapaches o tlacuaches) y doméstica (gatos) e incluso por parte de los humanos (personal de intendencia). El tercer trabajo –y el más reciente– se llevó a cabo en la ciudad de Xalapa, Veracruz. Adicionalmente al reporte de especies de aves que colisionaron con ventanas en un periodo



Figura 2. Marca característica que se puede encontrar en las ventanas de edificaciones urbanas en las que ha ocurrido la colisión de un ave. Foto: Erick J. Corro.

de un año en múltiples edificaciones de la ciudad, en este estudio se evaluaron algunas características de las edificaciones y del entorno, con la finalidad de abonar a nuestra comprensión sobre el fenómeno. En la siguiente sección del artículo se abunda sobre la naturaleza y los hallazgos de dicho trabajo.

Hallazgos de un estudio en Xalapa (Veracruz)

■ Xalapa es una ciudad con una extensa cobertura vegetal, por lo que ha sido catalogada como un laboratorio natural de ecología urbana. Dentro de los linderos de la ciudad se ha registrado una gran diversidad de aves (341 especies) y aunque se caracteriza por tener construcciones de no más de tres o cuatro pisos, también presenta edificios más altos con fachadas de vidrio.

Con la finalidad de conocer el efecto que tienen dichas edificaciones, se estudió el fenómeno de colisión de aves con ventanas en nueve edificios ubica-

dos en distintas zonas de la ciudad (Gómez-Martínez y cols., 2019). Para ello, se buscaron cadáveres colisionados en tres épocas de un año. Posteriormente, se relacionaron algunas características ambientales y arquitectónicas (área de las ventanas, área de vegetación alrededor del edificio, área de construcción sin vidrio, altura del edificio, área del edificio) con la tasa de colisiones en los edificios estudiados. Además del muestreo estandarizado descrito anteriormente, se recabaron datos adicionales de colisiones en otros sectores de la ciudad. En el muestreo estandarizado se registró un total de 27 colisiones de 20 especies de aves, número que ascendió a 43 especies con la información recabada de forma no estandarizada. Los resultados de esta investigación muestran que a mayor área de vegetación alrededor de los edificios focales, mayor probabilidad de que existan colisiones de aves con ventanas. A su vez, las colisiones fueron menores en edificaciones con mayor superficie construida sin ventanas.

■ ■ ■ ¿Cómo podemos contribuir a reducir las colisiones?

■ Se han propuesto diversos métodos que han mostrado reducir, en distintas medidas, la frecuencia de las colisiones de aves con las ventanas de los edificios. Entre aquellos disuasores que han mostrado ser efectivos destacan las señales visuales en las ventanas que les advierten a las aves del peligro. Estas señales pueden ser patrones uniformes de distintos tipos de figuras, como franjas, líneas, cuadros, siluetas de aves o puntos oscuros, colocados de forma adherente en la superficie externa del vidrio. Es importante resaltar que las investigaciones del profesor Daniel Klem Jr. (1990) muestran que, independientemente del método visual, la separación máxima entre sus elementos debe ser de 5-10 cm, y se debe cubrir toda la superficie externa de la ventana para que sea realmente efectivo.

Otra forma de contribuir reside en la aportación de información. Por medio de prácticas de ciencia ciudadana, es posible recabar datos sobre las colisiones de aves con ventanas a lo largo y ancho de las ciudades focales. De esta manera, además de fomentar la conciencia sobre los efectos que tienen las



■ **Figura 3.** Paloma arroyera (*Leptotila verreauxi*) encontrada después de su colisión con una ventana en una edificación al sur de la ciudad de Xalapa. Foto: Miguel A. Gómez Martínez.

estructuras en las que vivimos y las consecuencias de las formas en las que han sido diseñadas, sería factible reunir cantidades importantes de información que, sin duda, sumarían a nuestra comprensión de un fenómeno complejo y poco estudiado, sobre todo en los lugares en vías de desarrollo.

■ ■ ■ Miras hacia el futuro

■ A pesar de la gran amenaza que pueden representar las colisiones de aves con ventanas, la falta de conocimiento del tema en amplias regiones del mundo representa una gran limitación para su mitigación, así como para enfocar los esfuerzos en sitios y condiciones de mayor importancia ecológica. Las acciones



que se han tomado para evitar las colisiones de aves con ventanas, por lo general se llevan a cabo en el ámbito local y consisten en presionar o incentivar a los propietarios de grandes edificios, a las autoridades de un campus universitario o a los grupos de vecinos para que modifiquen sus propiedades y las hagan más seguras para las aves. Es aún reciente el hecho de que en algunas ciudades del norte de Norteamérica se hayan logrado incluir medios de prevención de

colisiones en los reglamentos de construcción (Saha, 2017). Si bien este tipo de esfuerzos constituye un paso muy importante, aún están ausentes en nuestro país. En última instancia, a partir de los argumentos respaldados por la información basada en evidencias científicas, se espera que México transite hacia la implementación de soluciones de la mano de arquitectos e ingenieros, así como de las autoridades, que busquen satisfacer las necesidades de los involucrados sin olvidar el papel ecológico que tienen las ventanas de las casas y los edificios.

Miguel Ángel Gómez Martínez

Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana.

gomez.miguelangel86@gmail.com

Ian MacGregor Fors

Programa de Investigación en Ecosistemas y Ambiente, Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de Helsinki, Lahti, Finlandia.

ian.macgregor@helsinki.fi

Referencias específicas

- Bartels, M. (2017), "Nearly 400 migratory birds were killed by one Texas building in a single night", *Audubon*. Disponible en: <<https://www.audubon.org/news/nearly-400-migratory-birds-were-killed-one-texas-building-single-night>>, consultado el 24 de julio de 2019.
- Cupul-Magaña, F. G. (2003), "Nota sobre colisiones de aves en las ventanas de edificios universitarios en Puerto Vallarta, México", *Huitzil*, 4:17-21.
- Gómez-Martínez, M. A., D. Klem Jr., O. Rojas-Soto, F. González-García y I. MacGregor-Fors (2019), "Window strikes: Bird collisions in a Neotropical green city", *Urban Ecosystems*, 22(4):699-708.
- Gómez-Moreno, V. C., J. R. Herrera-Herrera y S. Niño-Maldonado (2018), "Colisiones de aves en ventanas del Centro Universitario Victoria, Tamaulipas, México", *Huitzil*, 19:227-236.
- Hager, S. B., B. J. Cosentino, K. J. McKay, C. Monson, W. Zuurdeeg y B. Blevins (2013), "Window area and development drive spatial variation in bird-window collisions in a urban landscape", *PLoS ONE*, 8:e53371.
- Klem Jr., D. (1990), "Collisions between birds and windows: Mortality and prevention", *Journal of Field Ornithology*, 61(1):120-128.
- Loss, S. R., T. Will, S. S. Loss y P. P. Marra (2014), "Bird-building collisions in the United States: Estimates of annual mortality and species vulnerability", *The Condor*, 116(1):8-23.
- Machtans, C. S., C. H. R. Wedeles y E. M. Bayne (2013), "A first estimate for Canada of the number of birds killed by colliding with building windows", *Avian Conservation and Ecology*, 8(2):6.
- Navarro-Sigüenza A. G., M. F. Rebón-Gallardo, A. Gordillo-Martínez, A. T. Peterson, H. Berlanga-García y L. A. Sánchez-González (2014), "Biodiversidad de aves en México", *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85:476-495.
- Saha, P. (2017), "Proposed federal law could save countless birds from death by glass", *Audubon*. Disponible en: <<https://www.audubon.org/news/proposed-federal-law-could-save-countless-birds-death-glass>>, consultado el 24 de julio de 2019.

Estrategia para fomentar la investigación en la formación de docentes

En este artículo se expone la experiencia a partir de la aplicación de una estrategia de enseñanza para fomentar el interés por la investigación en la formación inicial de docentes, en la Licenciatura en Educación y Gestión de Centros Educativos de la Universidad Metropolitana de Monterrey. Se obtuvieron cambios positivos con respecto al proceso de enseñanza-aprendizaje de la investigación educativa.

Introducción

Hoy vivimos en un mundo globalizado y diverso que nos presenta retos, desigualdades y problemas para los cuales debemos hallar posibles soluciones. En este sentido, la educación es un componente fundamental para lograr el desarrollo de seres humanos capaces de pensar con actitud crítica y responsable. Por otra parte, la formación inicial de docentes constituye un factor esencial para lograr tales propósitos, pues los maestros deben poseer las capacidades necesarias para formar individuos que desempeñen un papel protagónico y contribuyan a encontrar soluciones a los problemas actuales.

En ese orden de ideas, la investigación adquiere un rol importante porque contribuye a estimular el interés por el conocimiento e incentivar la curiosidad y la capacidad de hacerse preguntas sobre algún aspecto de la realidad, lo cual facilita la transformación y mejora de la acción educativa. Entonces, es evidente que el vínculo entre la docencia y la investigación contribuye a la superación de la actividad docente y a la calidad de la formación de los estudiantes.

Con un enfoque en la formación de futuros docentes para los diferentes niveles educativos, la Universidad Metropolitana de Monterrey, en Nuevo León, ofrece la Licenciatura en Educación y Gestión de Centros Educativos (LEGCE), cuyo plan de estudios comprende 60 materias durante nueve trimestres en turnos matutino, vespertino y nocturno, tanto en la modalidad presencial como en línea.

En el segundo periodo (mayo-agosto) del curso 2017-2018, aplicamos una encuesta a los alumnos de 9.º trimestre para indagar sobre el desarrollo de



30

25

20

15

10

5

0

6

9

12

15

18

21

24

27

30

33

36

competencias durante la carrera. Uno de los aspectos que quedó reflejado fue su falta de interés por la actividad investigativa; plantearon que era insuficiente la motivación para el desarrollo de la investigación, por lo que algunos pensaban que ésta era una actividad sumamente complicada y difícil. Por otra parte, cuando comenzamos a impartir la asignatura Metodología de la Investigación en el 3.º trimestre de la LEGCE, algunos estudiantes nos planteaban: “Es que a mí no me agrada la investigación”; “No me gustaba la investigación con la metodología que lo hacía aquel profesor”; o bien, “Es que las clases eran muy teóricas; no veía en qué me podían ser útiles los métodos, procedimientos y técnicas que se describían”.

Dar a conocer estos resultados ante la dirección de la LEGCE, y después a los coordinadores, fue un detonante para pensar en estrategias encaminadas a fomentar el interés por la investigación en la formación de los futuros docentes. Si bien existían asignaturas en el plan curricular que abordaban este campo, aún los objetivos no eran tan claros. Teniendo en cuenta los planteamientos anteriores, se comenzó por realizar modificaciones en el diseño curricular y en las estrategias didácticas. Con esto se buscó contribuir al desarrollo de competencias en los jóvenes que les permitieran abordar los retos que enfrentarían en la práctica educativa.

Instrucción metacognitiva

Es en la que el profesor explica la utilidad de usar una estrategia e induce a que los estudiantes la comprueben (Osse y Jaramillo, 2008).

Naturaleza y finalidad de la investigación en la LEGCE

Uno de los objetivos de la educación superior es la formación para el ejercicio profesional; por ello, se debe entrenar al futuro licenciado o licenciada para proponer y realizar cambios pertinentes en la práctica de su especialidad. De igual forma, se pretende dotar a los estudiantes de conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes y aptitudes hacia la investigación, para que dejen de ser receptores de conocimientos y, en cambio, se formen en el análisis crítico y la posterior actuación reflexiva y creadora ante las múltiples problemáticas en los diferentes contextos educativos.

La investigación es esencial en el futuro docente, dado que es la herramienta utilizada para buscar



y descubrir el conocimiento y la verdad. En los estudiantes, ayuda a orientar el accionar en cada área del saber mediante la construcción del conocimiento científico, al tiempo que incrementa el gusto por el estudio, la capacidad de observación, la disciplina, así como la creatividad, para encontrar respuestas y soluciones. Por ello, en el plan de estudios de la LEGCE están incluidas las competencias de investigación que deben tener los futuros docentes.

La enseñanza de la investigación educativa en los estudiantes que se están formando les brinda herramientas para afrontar los nuevos retos, tales como: atención educativa a la diversidad, integración de las tecnologías de información y comunicación en los procesos de enseñanza-aprendizaje, incorporación de la **instrucción metacognitiva** en las aulas, entre otras. Con ello, se posibilita el desarrollo profesional, para que posteriormente contribuyan a renovar y transformar los ambientes escolares, a partir de mejores formas de comprensión con respecto a la dinámica del proceso educativo.

La investigación como método pedagógico para la formación de docentes

En el desarrollo de las competencias investigativas para los futuros docentes, se ha requerido que la LEGCE constituya un centro con capacidad de adaptación, con la posibilidad de convertirse en un lugar adecuado para el aprendizaje profesional, así como con la presencia de directivos y profesores



preocupados por la participación de los estudiantes. Desde esta perspectiva, se orientó la vinculación de los programas académicos con la enseñanza, como parte de la misión institucional, para así promover la interacción entre la enseñanza y la investigación. Lo anterior significa que, con un enfoque didáctico, se utilizarán estrategias de **aprendizaje activo** para desarrollar competencias en los estudiantes que les permitan realizar una investigación creativa.

A partir de esta concepción, el planteamiento de la LEGCE consistió en que, al mismo tiempo que se ofrece preparación para el ejercicio del magisterio, se deben aportar oportunidades de aprendizaje para el desarrollo de las competencias investigativas. En consecuencia, el próximo paso fue conocer la necesidad real de preparación en los estudiantes, para poder convertir la investigación en un método pedagógico.

El estudio realizado estuvo dirigido a fomentar el interés por la investigación en la formación inicial de docentes, con base en la necesidad de que éstos se cuestionen acerca de su realidad y sean capaces de implementar nuevas estrategias de enseñanza-aprendizaje. De esta manera, también se tomaron en consideración sus experiencias, el aprovechamiento de la actitud colaborativa y la disposición de trabajar en equipo.

La población de referencia estuvo formada por todos los estudiantes matriculados en la LEGCE en los periodos mayo-agosto y septiembre-diciembre de 2018. La muestra del estudio fue seleccionada de

los dos últimos tetramestres, conformada por 80 estudiantes, además de nueve profesores que imparten las asignaturas relacionadas con la investigación en todos los tetramestres, tales como: Metodología de la Investigación, Investigación Educativa, Seminario de Investigación y Desarrollo de Proyectos Educativos.

■ Estrategia para la investigación en el universo de la LEGCE

■ La estrategia se diseñó teniendo en cuenta que la formación en investigación se integra al perfil profesional de los futuros docentes, específicamente mediante acciones investigativas que se ejercen a partir de la reflexión en la práctica educativa y del desarrollo de propuestas que den soluciones a algunas de las problemáticas que enfrenta la comunidad académica a la que pertenecen.

Así, de acuerdo con los programas de la LEGCE, los estudiantes deben realizar el planteamiento y la implementación de acciones que contribuyan a transformar las realidades socioculturales y educativas en que intervienen. Desde la perspectiva de una formación integral, fue necesario que los estudiantes se concibieran como maestros que consiguen integrar su capacidad de investigar al desarrollo continuo y a su práctica profesional.

Con base en el planteamiento de que la estrategia es una concepción teórico-práctica que permite transformar un estado real a uno deseado, se propusieron etapas y acciones relacionadas con las

◀ Aprendizaje activo

Modalidad en la cual los alumnos tienen la oportunidad de aportar, dialogar y generar su propio conocimiento.

empleadas en la dirección del proceso pedagógico. Se partió de una etapa de orientación en la que se lograra la preparación de todos los involucrados y la planificación de las acciones, para comprender lo que se iba a hacer. Posteriormente, se llevó a cabo la etapa de ejecución, en la cual se aplicaron las acciones diseñadas para cada uno de los espacios. Por último, se realizó la evaluación y el control; además,

se analizaron y divulgaron los resultados. La estrategia empleada se resume en la Tabla 1.

Conclusiones

A partir de los resultados presentados, en la LEGCE se reflejaron cambios positivos con respecto al proceso de enseñanza-aprendizaje de la investigación

Tabla 1. Estrategia para contribuir al desarrollo de competencias investigativas en la formación inicial de maestros.

| Etapas | |
|--|--|
| Acciones | Resultados |
| I. Orientación y creación de las condiciones organizativas que favorecen el ambiente de investigación. | |
| Rediseño del currículo, a partir del análisis del diagnóstico de los estudiantes y de las asignaturas relacionadas con la investigación. Se orientó la continuidad de los proyectos en cada uno de los tetramestres. | Se aprovecharon las potencialidades de cada una de las asignaturas y de los profesores para propiciar la participación de los estudiantes en diferentes proyectos de investigación. |
| | En el 3. ^{er} tetramestre, para la asignatura Metodología de la Investigación, los estudiantes plantearon el problema de estudio, los objetivos y las preguntas de investigación, para realizar una evaluación de su relevancia y factibilidad. |
| | En el 8. ^{vo} tetramestre, en la asignatura de Investigación Educativa, los estudiantes realizaron la explicación y fundamentación de las posiciones teóricas que se asumían, la definición de los conceptos básicos para el tema y la explicación de las teorías científicas que sustentarían los pasos a dar durante la resolución del problema científico. |
| | En el 9. ^{no} tetramestre, en la asignatura Seminario de Investigación, realizaron la recolección de los datos, el análisis de los resultados, las propuestas de solución y la elaboración del informe. |
| | En la asignatura Desarrollo de Proyectos Educativos, también del 9. ^{no} tetramestre, utilizaron su investigación para diseñar e implementar el proyecto en un centro educativo. |
| Determinación de nuevos espacios en la organización escolar. | Creación de los espacios: preseminario, seminario y defensa de proyectos educativos, donde los estudiantes podían exponer los resultados de su investigación. |
| | Implementación de turnos de preparación y debates pedagógicos, los cuales favorecieron el sondeo de opiniones para escuchar, aclarar y comprobar la comprensión de la investigación. Esta organización permitió: <ul style="list-style-type: none"> • Planificar las acciones. • Comprender la estrategia y los resultados esperados. • Contar con la participación y el compromiso de cada estudiante para obtener buenos resultados. • Reflexionar sobre su práctica educativa. • Constituir un estímulo hacia el interés por la mejora y la transformación. • Asegurar la flexibilidad en el currículo y la organización escolar. |
| | Otro espacio importante consistió en la determinación del horario de tutoría, el cual facilitó la orientación, el intercambio de ideas, la reflexión y el avance de los proyectos de investigación, mediante la interacción sistemática y comunicación profesor-estudiante. |

| Etapas | |
|--|--|
| Acciones | Resultados |
| Selección de los profesores que impartirían las asignaturas orientadas hacia la investigación. | Se realizó la selección de nueve profesores que reunieran saberes prácticos, teóricos, pedagógicos y que tuvieran experiencia en la tutoría. Además, se buscó que transmitieran una concepción como orientadores del estudiante en el proceso de construcción de conocimientos y habilidades. |
| Identificación de los temas de investigación en correspondencia con las necesidades actuales. | Se ofrecieron propuestas de temas relacionados con las asignaturas de la carrera, necesidades de las instituciones en las que se realiza la práctica profesional y otros temas que ya habían sido abordados por otros estudiantes. |
| | También se pidió que exploraran otros problemas de investigación y que sugirieran soluciones. |
| | Los estudiantes pudieron elegir libremente el tema de su preferencia. |
| | Se estableció una base de datos en la que aparecían los resultados de las investigaciones realizadas en la institución y los temas de investigación que se estaban abordando en los diferentes tetramestres y modalidades. |
| II. Ejecución de estrategias de enseñanza-aprendizaje que favorecen la investigación. | |
| Implementación de metodologías activas. | Se utilizaron las lluvias de ideas, los mapas mentales y los debates para generar diferentes análisis y propuestas. |
| | Se implementó la organización de grupos en los que cada miembro tenía un determinado rol, y se trabajó de forma coordinada para alcanzar los objetivos. |
| | Durante los talleres se enseñó a los estudiantes a problematizar, a buscar y seleccionar la información, así como a imaginar posibles soluciones. |
| | Se realizaron actividades como analizar los resultados de los datos obtenidos, formular inferencias y elaborar conclusiones. |
| | Se logró que se enseñara haciendo, corrigiendo, mostrando cómo y permitiendo que se repitiera lo corregido; de esta forma, se ofrecieron los apoyos y las herramientas adicionales para aprender de una manera más fácil. |
| | Durante las actividades, cada profesor transmitió el gusto por conocer y enseñó la manera de hacerlo mediante el método demostrativo y los talleres. |
| Trabajo colaborativo entre los profesores que imparten las asignaturas de investigación. | Se logró la unidad colegiada en las líneas de acción del grupo de profesores que imparten las asignaturas de investigación —dirigidos por el coordinador—, lo cual contribuyó a dinamizar la relación educativa. |
| | Se hicieron actividades conjuntas: <ul style="list-style-type: none"> • Talleres de tesis. • Escritura de artículos derivados de la investigación para la revista de la LEGCE. • Charlas formativas. • Actividades prácticas sobre el formato APA.¹ • Sesiones científicas grupales. • Defensa del proyecto de investigación. |
| Comunicación directa e inmediata profesor-estudiante. | De manera importante, se logró que la comunicación profesor-estudiante fuera tanto en los talleres como durante las clases y en las actividades de asesoría, de manera individual y grupal. |
| | La comunicación profesor-estudiante fue un aspecto al cual se brindó seguimiento durante el plan de trabajo y las reuniones mensuales. |

¹ Modelo de la Asociación Americana de Psicología (APA, por sus siglas en inglés) para la elaboración y presentación de trabajos académicos.

| Etapas | |
|---|---|
| Acciones | Resultados |
| III. Evaluación y comunicación de los resultados de la investigación. | |
| Evaluación de la investigación. | En el preseminario, todos los estudiantes de 9.º trimestre expusieron los resultados de su investigación. |
| | Se logró la participación de todos los estudiantes que cursan diferentes asignaturas relacionadas con la investigación, en 3.º, 6.º, 7.º, 8.º y 9.º trimestres. |
| | La evaluación de la defensa se realizó mediante una escala de rango con 10 criterios. Al final de este evento se contó el puntaje de cada instrumento para obtener la mayoría de los votos a favor y, de esta manera, aprobar la defensa. Para ello, con anterioridad se brindó una rúbrica que sirviera de guía con respecto a los aspectos de la investigación. |
| | Los profesores y estudiantes realizaron su votación mediante un formulario en Google Drive. Quienes obtuvieron las votaciones más altas participaron en la actividad del seminario en el auditorio de la institución. |
| Exposición de los resultados ante colectivos de profesores y estudiantes de la institución. | El Seminario de Investigación, además de ser una asignatura del 9.º trimestre, también constituyó una actividad central de la LEGCE, en la cual los estudiantes expusieron los principales resultados de su proyecto. En este espacio se compartieron los resultados de la investigación con profesores y estudiantes. |
| | Los profesores se colocaron al nivel de los estudiantes para escucharlos y comprender sus ideas y actuaciones. Allí convergieron las preguntas y soluciones sobre problemas pendientes de clarificar y para la reflexión didáctica. |
| | El seminario contribuyó a enriquecer el horizonte intelectual de los estudiantes y a profundizar en la comprensión desde una perspectiva dialógica. |
| | Otra actividad para divulgar los resultados fue la defensa del desarrollo de proyectos educativos, en la cual los alumnos reunidos en equipo expusieron los resultados de la implementación del proyecto educativo en una institución. |
| | Ambos eventos proporcionaron experiencias de aprendizaje y facilitaron la comunicación y la retroalimentación. |
| | Asimismo, constituyeron espacios de estímulo a los mejores resultados de investigaciones y a todos los profesores. |

Fuente: elaboración propia.

educativa. Primero, los profesores hemos reflexionado sobre nuestras formas de enseñanza y estamos motivados para incorporar cambios que contribuyan, en alguna medida, a la mejora de los aprendizajes de nuestros estudiantes, con el objetivo de que desarrollen habilidades para la construcción del conocimiento científico: observar, preguntar, registrar, interpretar, analizar, describir contextos, así como la creatividad, para buscar respuestas y soluciones. En segundo lugar, al investigar sobre problemas reales extraídos de las instituciones en las cuales los estudiantes realizaron su práctica profesional, y tras darles la oportunidad de elegir libremente su tema de

investigación, esta estrategia les generó mayor motivación, lo cual se observó en la dedicación con la que realizaron sus proyectos y asumieron un papel más activo y comprometido.

A partir de los nuevos espacios se fomentó el diálogo, la confrontación y una sistemática interacción profesor-estudiante y con los demás profesores de las asignaturas relacionadas con la investigación. Así, se permitió el desarrollo de competencias, tales como la capacidad para actuar con responsabilidad y el compromiso ante las problemáticas identificadas, además de la propuesta de soluciones mediante la aplicación del conocimiento científico. De igual



forma, se contribuyó a impulsar una actitud abierta hacia el cambio y la mejora de la práctica docente, mediante el desarrollo de formas de trabajo más centradas en el proceso de aprendizaje. Lo anterior también facilitó que, en el ciclo enero-abril de 2019, cuatro profesores que anteriormente impartían otras asignaturas pidieran integrarse a las materias relacionadas con la investigación, lo cual muestra la influencia que tuvo la estrategia aplicada y la utilización de los espacios de preparación docente. A partir de los resultados obtenidos, el siguiente paso que se ha planteado en la LEGCE es que nuestros profesores y estudiantes publiquen sus investigaciones y proyectos en revistas arbitradas.

María Elena Sinclair Baró

Universidad Metropolitana de Monterrey.
sinclairbaro@gmail.com

Arnold Ricardo García García

Universidad Metropolitana de Monterrey.
ricardo1327@hotmail.com

Referencias específicas

- Acosta, S. (2014), *Pedagogía por competencias: aprender a pensar*, México, Trillas.
- Álvarez, C. y J. L. Fabián (2012), “La elección del estudio de caso en investigación educativa”, *Revista Gazeta de Antropología*, 28(1):1-13.
- Bernal, C. (2016), *Metodología de la investigación*, 4.ª ed., Bogotá, Pearson.
- Campusano, K. y C. Díaz (2017), *Manual de estrategias didácticas: orientaciones para su selección*, Santiago, Ediciones INACAP.
- Difabio, H. (2011), “Las funciones del tutor de la tesis en educación”, *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 16(50):935-959.
- Frías, M. G. y S. A. González (2014), *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association*, México, El Manual Moderno.
- Hernández, R., C. Fernández y M. P. Baptista (2014), *Metodología de la investigación*, México, McGraw Hill.
- Manterola, C. y H. T. Otzen (2013), “Por qué investigar y cómo conducir una investigación”, *Int. J. Morphol.*, 3(4):1498-1504.
- Muñoz, C. (2011), *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*, 2.ª ed., México, Pearson Educación.
- Navarro, E., E. Jiménez, S. Rappoport y B. Thoilliez (2017), *Fundamentos de la investigación y la innovación educativa*, La Rioja, UNIR.
- Osses, S. y S. Jaramillo (2008), “Metacognición: un camino para aprender a aprender”, *Estudios Pedagógicos*, XXXIV(1):187-197.
- Perines, H. (2018), “¿Por qué la investigación educativa no impacta en la práctica docente?”, *Estudios sobre Educación*, 34:9-27.

Cambio climático, calentamiento global y efecto invernadero, ¿cuál es cuál?

El clima de nuestro planeta está cambiando. El cambio ha provocado un calentamiento global. ¡Pero no se alarmen! Este calentamiento es un fenómeno natural que siempre ha existido en la Tierra. Sin embargo, ahora que como humanidad sobreexplotamos los recursos naturales, ha surgido una nueva cuestión: ¿cuánto estamos influyendo en acelerar el calentamiento? ¡Alármense! La respuesta es: ¡demasiado!

Lo local afecta a escala global

Ahora más que nunca, muchas de las personas que habitamos el planeta estamos rodeadas de diversas comodidades y artefactos que vuelven más sencillas nuestras actividades cotidianas. Por desgracia, varios de los bienes que poseemos y de las acciones que realizamos son necesidades creadas, promovidas por la mercadotecnia. De manera casi inevitable, la humanidad está siendo arrastrada por la evolución tecnológica. Además, debido a la gran cantidad de población existente en la Tierra (casi 8 000 millones de personas), hay un aumento de la presión ejercida para la explotación de los recursos naturales, lo cual genera una mayor producción de bienes y un incremento en el consumo por persona. Esta situación ha tenido un fuerte impacto en términos climáticos alrededor del mundo.

Veamos un ejemplo. El celular que ahora se encuentra en tu bolsillo o en tu mano ha sido elaborado a partir de 80 elementos químicos, 200 minerales (combinación de elementos químicos) y cerca de 300 aleaciones (combinación de metales). La pantalla a color, ultranítida y de excelente resolución, está compuesta por decenas de elementos raros, como el itrio (Y) y el indio (In), así como otros más conocidos, por ejemplo, el aluminio (Al) y el mercurio (Hg). En la mayoría de los casos, dichos elementos químicos y los minerales no se encuentran expuestos sobre la superficie terrestre, por lo que su obtención implica extraerlos del subsuelo mediante técnicas de minería. A grandes rasgos, el proceso de extracción es el siguiente: en primer lugar, al ubicar un yacimiento (sitio donde se encuentran



minerales de manera natural), se requiere desmontar el área; es decir, se elimina toda la vegetación presente en el lugar. De entrada, esto provoca un aumento en la temperatura local, pues la vegetación deja de absorber la energía proveniente del Sol y el sitio se calienta más de lo normal. Esta variación en la cantidad de energía que es reflejada por una superficie se conoce como albedo, y es uno de los varios factores que promueven el aumento de la temperatura local. Por último, para la extracción se emplean compuestos tóxicos que permiten separar los minerales de interés, pero que provocan graves daños al suelo. Todo esto, por decir poco. Así que hay que reconsiderar nuestras intenciones de cambiar el modelo de celular a cada rato, pues ello puede ayudar a evitar una mayor extracción de minerales, entre otros efectos.

Troposfera

Capa que ocupa entre 8 km (en los polos) y 18 km (en la zona intertropical) de la atmósfera terrestre.

■ ■ ■ **¿Qué es el cambio climático y el calentamiento global?**

■ Conforme avanza la apertura económica, social y cultural que une a todas las naciones –también llamada globalización–, cada país se industrializa en mayor medida y aumenta sus niveles de producción de bienes y servicios para la población. Una de las principales consecuencias de este hecho es el incremento de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera del planeta, lo cual genera cambios en el clima, tanto local como planetario. El componente más renombrado y en el cual ha recaído la mayor responsabilidad del cambio climático es el dióxido de carbono (CO₂), pues sus concentraciones han aumentado de manera considerable, como veremos más adelante.

El clima de un sitio se determina a partir de la relación que existe entre la precipitación y la temperatura del lugar, considerando los últimos 30 años de información. En la actualidad, el promedio de la temperatura del aire sobre la superficie del planeta, incluido el mar y el suelo, es de aproximadamente 14.5 °C. Esta temperatura promedio se determina a partir de la temperatura presente en la mayor cantidad de sitios en el globo terráqueo; de este modo, podemos notar que la temperatura media del aire ha

incrementado 0.6 °C desde 1861 (Cubasch y cols., 2013). Este aumento de la temperatura se llama calentamiento global. Para que se reconozca la existencia de un cambio climático como éste, el cambio de clima (en este caso, aumento de la temperatura) debe mantenerse en el tiempo (Stocker y Qin, 2013).

■ ■ ■ **Efecto invernadero**

■ El efecto invernadero es un proceso natural que siempre ha ocurrido en la atmósfera terrestre. Los gases presentes en la **troposfera** capturan el calor proveniente del Sol, lo atrapan y no lo dejan salir del planeta. La razón por la cual el calentamiento global se ha intensificado se explica por el aumento en las concentraciones de uno de los principales gases de efecto invernadero: el CO₂.

Con respecto a este efecto, dentro de un invernadero podemos emular las condiciones que ocurren a escala planetaria. Por ejemplo, el techo del invernadero (vidrio o plástico) cumple la función de los gases en la atmósfera que atrapan el calor; aunque permiten el paso de la luz solar visible, también absorben parte de la radiación infrarroja, lo que hace que se retenga algo de calor.

■ ■ ■ **¿Dónde se genera el dióxido de carbono?**

■ El CO₂ proviene de dos fuentes: las naturales y las antropogénicas. De manera natural es liberado en grandes concentraciones por la vegetación (439 gigatoneladas [Gt] al año) y los océanos (332 Gt); sin embargo, la mayor parte es reabsorbida (788 Gt) por la misma vegetación y los océanos. En cambio, debido a las actividades humanas, las concentraciones de CO₂ en el planeta han aumentado como resultado de la deforestación y la quema de combustibles fósiles (29 Gt), como el petróleo, gas natural y carbón. En el caso de México, se reconoce que las principales fuentes de emisión de CO₂ relacionado con la quema de combustibles fósiles están asociadas con actividades como el transporte (39%) y la generación de electricidad (28%), las cuales son responsables de 67% de las emisiones de CO₂ a la troposfera.

El CO_2 es un componente natural de la atmósfera terrestre (con una concentración de 0.033%) y es parte fundamental del mantenimiento de la vida en el planeta, ya que prácticamente todos los seres vivos dependemos directa o indirectamente de las plantas, las cuales requieren de CO_2 para llevar a cabo la fotosíntesis. Asimismo, el CO_2 desempeña un papel muy importante en el control del clima planetario; se ha estimado que su ausencia reduciría 30 °C la temperatura del aire, lo que haría más frío el globo terráqueo. Por el contrario, el aumento en sus concentraciones está provocando una acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera (particularmente en la troposfera) y multiplicando su capacidad de retención de energía, lo que ha originado un calentamiento global como resultado del efecto invernadero.

■ ¿Cómo sabemos que las cosas han cambiado en el planeta?

■ Existen sitios en el mundo donde se conserva aire atrapado desde hace miles de años; en estos lugares

se han obtenido muestras (trozos de hielo) que han permitido conocer las concentraciones históricas de los gases en la atmósfera terrestre. Por ejemplo, los glaciares de la Antártida y Groenlandia contienen en el hielo espacios de aire atrapado que datan de hace 400 000 años; su análisis ha permitido conocer las concentraciones de CO_2 en la atmósfera desde ese entonces y hasta la fecha. Gracias a ello se sabe que la concentración de este gas ha oscilado entre 180 y 300 **partes por millón** (ppm) en el tiempo.

Las concentraciones de CO_2 habían sido constantes desde hace 400 000 años; incluso hace 10 000 años, con el final de la última era de hielo en el planeta, las concentraciones no rebasaban 285 ppm. Sin embargo, hoy día se ha reconocido un aumento en las concentraciones, marcado a partir de la Revolución Industrial en 1760. Desde ese momento y hasta 2016, el CO_2 llegó a superar la considerable cifra de 400 ppm (véase la Figura 1). Esto prueba que el aumento de las concentraciones de CO_2 va de la mano con la creciente actividad industrial, producto del desarrollo tecnológico de la humanidad.

Partes por millón (ppm)
Unidades de una sustancia presentes por cada millón de unidades del todo, por ejemplo, cantidad de CO_2 en el aire.

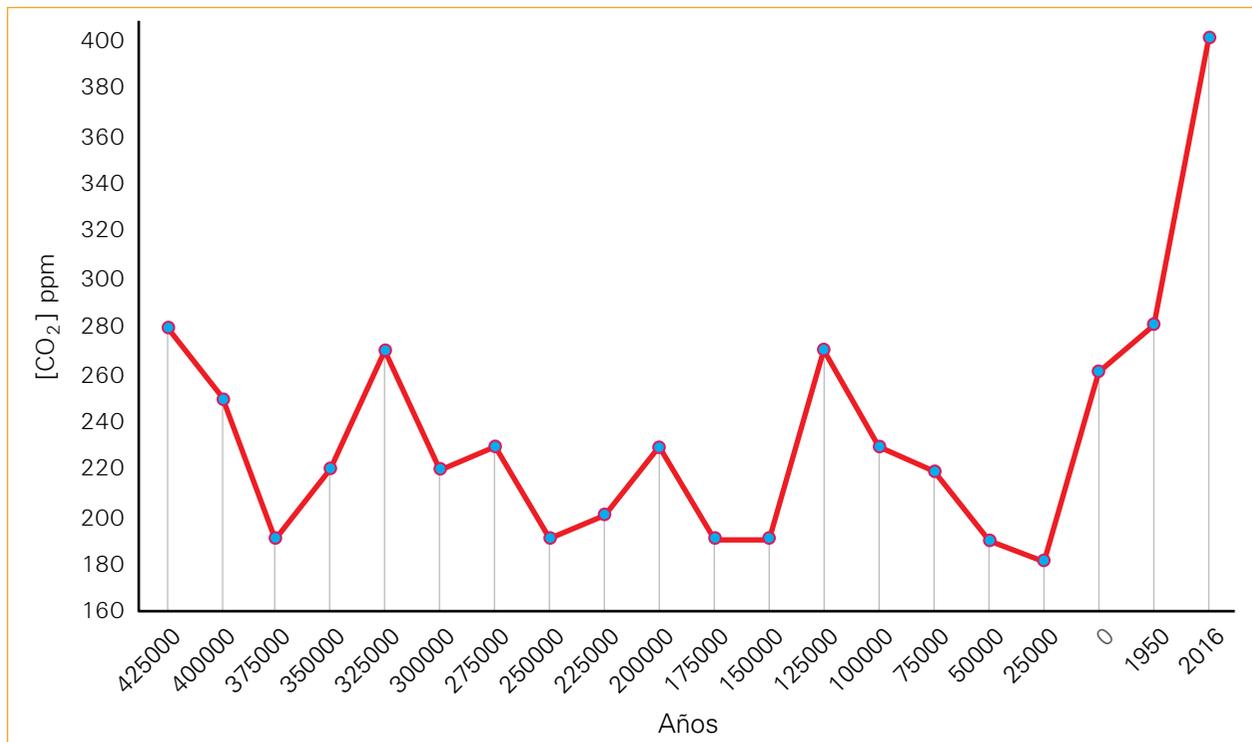


Figura 1. Reconstrucción histórica de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera terrestre. Fuente: NOAA (2019).

■ **Otros gases “culpables” del cambio climático**

■ El CO₂ es el más popular de los gases que provocan el efecto invernadero en el planeta. Sin embargo, no es el único; ni siquiera es el que tiene más capacidad de atrapar el calor. Se han identificado otros gases que intensifican el efecto invernadero, como los clorofluorocarbonos (CFC), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Por ejemplo, tan sólo el metano posee 25 veces mayor capacidad que el CO₂ de absorber la radiación proveniente del Sol, lo cual ayuda a generar y promover el calentamiento global.

Del mismo modo que con el CO₂, las concentraciones de metano han aumentado. En la era pre-industrial, su concentración oscilaba entre 0.3 y 0.7 ppm, mientras que en la actualidad ha alcanzado 1.8 ppm. Se estima que año con año las concentraciones aumentan 1%. Las actividades humanas, en especial la agricultura y la ganadería, están asociadas

hasta en dos terceras partes con este fenómeno. Además, existen procesos naturales que aportan metano; por ejemplo, los ecosistemas anegados (inundados de agua), como humedales y pantanos, así como los ecosistemas marinos donde existe casi por completo ausencia de oxígeno, como en el fondo marino.

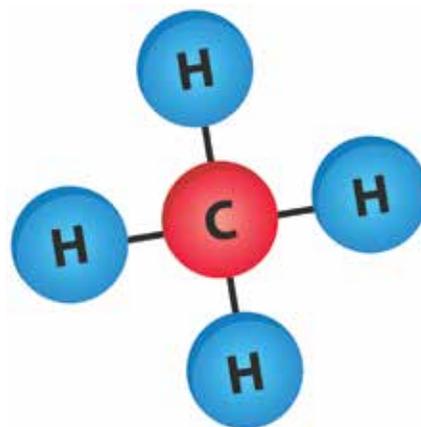
Las actividades agrícolas, como la siembra de arroz, promueven la generación de metano cerca de las raíces de la planta. Esto se debe a que en dichos sistemas agrícolas existen cantidades bajas de oxígeno, condición aprovechada por las bacterias anaerobias (aquellas que no requieren oxígeno para sobrevivir) para producir metano. Sucede lo mismo con el desarrollo de actividades ganaderas, debido a que los sistemas digestivos de las vacas y otros rumiantes, como ovejas, cabras, venados, caballos, asnos, entre muchos otros, producen como desechos digestivos considerables cantidades de metano. Esto

Recuadro 1.

Una reserva de metano que puede cambiar la historia del planeta

En la presente década se ha descubierto que la superficie de los fondos oceánicos se encuentra saturada de grandes reservas de hidrato de metano, una combinación de agua y metano que a bajas temperatura existe como cristales. El Servicio Geológico Británico estima que dichas reservas de metano contienen más energía que la proporcionada por la suma del petróleo, carbón y gas natural del planeta. No obstante, esta situación representa un arma de dos filos. Primero, el aprovechamiento de estas reservas puede proporcionar energía para las actividades humanas por los siguientes siglos; sin embargo, la liberación accidental de estas reservas podría traer consecuencias catastróficas para el planeta debido a la capacidad del metano como promotor del efecto invernadero, el calentamiento global y el cambio climático. Por otro lado, se ha observado que las actuales condiciones climáticas promovidas por las altas concentraciones de CO₂ han acelerado el

proceso natural de liberación de metano del fondo marino. Al igual que la temperatura del aire en la superficie terrestre, las aguas oceánicas se han calentado, lo cual ha provocado que las enormes masas de hielo que contienen los hidratos de metano se desplacen a mayores profundidades y liberen cantidades considerables de metano.





último resulta relevante debido a que la humanidad ha promovido la crianza y el aumento de las poblaciones de bovinos (vacas) para el consumo humano, con lo cual también se ha favorecido el aumento de dicho gas. Así es que, la próxima vez que pidas una hamburguesa de tamaño “mega” (en caso de que sea de carne real) considera tu aportación al efecto invernadero y al calentamiento global.

El planeta nos ofrece una salida

 De manera natural, los ecosistemas del planeta aprovechan el CO_2 y otros gases presentes en la atmósfera. Incluso, la mayoría del CO_2 generado por las actividades humanas puede ser absorbida por los ecosistemas terrestres y acuáticos; tanto los océanos como los bosques comparten tal capacidad. Sin embargo, existe un problema fácil de reconocer: la cantidad de CO_2 producido por la humanidad sobrepasa la capacidad de los ecosistemas para absorber la totalidad de las emisiones. Por lo tanto, el excedente de este gas se acumula en la atmósfera y participa en el calentamiento global.

El aprovechamiento del CO_2 por parte de los ecosistemas pertenece a un proceso natural denominado ciclo del carbono, el cual, paso a paso, define el destino de las moléculas de carbono en todo el planeta. Por ejemplo, el CO_2 de origen antropogénico puede ser capturado por la vegetación que, en presencia de agua y luz, convierte el carbono a moléculas orgáni-

cas como carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, lo cual permite el crecimiento de las plantas y aumenta la masa vegetal.

No obstante, en este punto surge otro problema: el carbono almacenado en los bosques es liberado, inconscientemente, durante un proceso llamado deforestación, que consiste en la eliminación de los bosques para el establecimiento de áreas agrícolas y ganaderas, que tienen como objetivo la provisión de alimentos para la humanidad. Entonces, surge otra cuestión, ya que con el aumento de la población mundial se requieren cada vez más áreas para la siembra de cultivos y para la cría de ganados. Otro punto menos para la humanidad. Además, la degradación y la pérdida de los ecosistemas disminuyen la capacidad del planeta para capturar CO_2 , ya que prácticamente una tercera parte de este gas en la atmósfera es capturada por los ecosistemas terrestres, mientras que los océanos se encargan de un porcentaje similar.

Se estima que los bosques (jóvenes y maduros) tienen la capacidad de absorber 30% de las emisiones de CO_2 antropogénicas. En el caso de los océanos, este valor corresponde a 25%. Es decir, en total, 55% de las emisiones de CO_2 producto de las actividades humanas es reabsorbido por los bosques y los océanos. Por el contrario, 45% de las emisiones restantes no pueden ser reabsorbidas y se mantienen en la atmósfera participando en el efecto invernadero y el calentamiento global.

■ **Efectos del cambio climático**

■ El calentamiento global promovido por las actividades humanas ha alterado las condiciones climáticas existentes en la historia del planeta. Esta condición ha comenzado a manifestarse en diversas partes del mundo. Por ejemplo, una de las alteraciones más notables es el aumento de la temperatura. Se ha demostrado que el efecto invernadero ha provocado el calentamiento del aire en la atmósfera, lo que ha aumentado la temperatura promedio del globo terráqueo. Las estimaciones más recientes sugieren que la temperatura del planeta al final del siglo XXI aumentará entre 2 y 4 °C.

Este aumento ha permitido la presentación de catástrofes meteorológicas, como tormentas de viento, huracanes y precipitaciones más intensas, así como inundaciones en áreas habitables. Por el contrario, en otras regiones del planeta ocurren sequías más intensas y prolongadas, las cuales han promovido los incendios forestales, tanto de origen natural como artificial. Además, el aumento de la temperatura está provocando el derretimiento de hielo en los polos, lo cual suscita una reducción de los glaciares y una mayor aportación de agua dulce hacia los océanos. De acuerdo con los pronósticos, esta aportación provocará un aumento del nivel medio del mar, desde algunos metros hasta decenas de metros para algunas zonas costeras vulnerables.

Por último, una de las consecuencias más relevantes del cambio climático para la vida en el planeta es la extinción masiva de especies. La modificación de las condiciones climáticas vuelve vulnerables a diversas especies que no soportan los cambios climá-

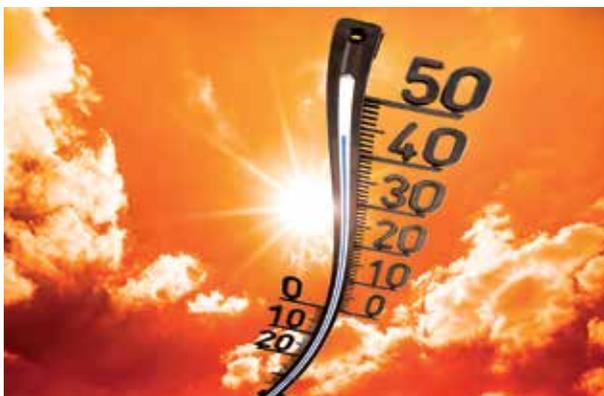
ticos bruscos (fríos o calores más intensos). Además, el cambio climático reduce el hábitat de las especies y facilita su desaparición. Por el contrario, se ha reconocido que muchas especies están siendo favorecidas por el calentamiento climático, en especial las especies denominadas invasoras; esto es, aquellas plantas o animales que se introducen en hábitats en los que nunca han vivido, pero que se adaptan completamente a sus nuevas condiciones y desplazan a las especies locales.

■ **Acciones individuales para reducir las emisiones de CO₂**

■ Muchas actividades que realizamos a diario implican el consumo de combustibles fósiles: la producción de la electricidad para el uso cotidiano, la quema del gas para cocinar los alimentos, el consumo del combustible por parte de los autotransportes. Aunque varias de las actividades son difíciles de sustituir, existen algunas formas en las que cada persona puede ayudar a reducir el impacto sobre el calentamiento global.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), una organización internacional encargada del estudio del cambio climático, hace las siguientes recomendaciones que permitirán reducir las emisiones de CO₂ desde el núcleo familiar:

1. En lugar del coche, emplea transportes alternativos, como la bicicleta o caminar. Se estima que 3 km caminados permiten ahorrar 1 k de carbono.
2. En caso de ser inevitable el uso del automóvil, verifica que las llantas estén bien infladas, con la presión adecuada; esto optimiza el consumo de gasolina.
3. Evita los viajes que no son estrictamente necesarios. Si es posible, realizar una videoconferencia en lugar de un viaje aéreo para una reunión presencial siempre será preferible. Los aviones aportan 12% de los contaminantes emitidos por los medios de transporte.
4. Usa las actuales tecnologías de comunicación e información. Solicita a tu banco, y a tus de-



más proveedores de servicios (teléfono, internet, etc.), que te envíen tus recibos por correo electrónico; con ello se eliminarán las hojas de papel que llegan a casa y el consumo de combustible para su transportación.

5. Revisa las instalaciones eléctricas de tu casa y, sobre todo, emplea focos ahorradores para disminuir el consumo energético; de esta manera pagarás menos por el recibo de luz y apoyarás a la reducción de las emisiones al planeta.
6. Aplica las tres R: recicla, reutiliza y reúsa. Los productos de cartón, papel y vidrio son amigables con las tres R. También considera emplear productos elaborados con insumos reciclados.
7. Planta un árbol de tu región. Cada árbol plantado captura CO₂ de la atmósfera. Se estima que durante su vida un árbol puede atrapar entre 350 y 3 500 k de carbono.
8. Promueve las tecnologías verdes. Exige a las autoridades gubernamentales que instalen paneles solares o molinos de viento para abastecer de electricidad a las poblaciones locales.
9. Prefiere comprar productos que se elaboran cerca de tu hogar, en lugar de productos del extranjero. Es mejor consumir la producción local debido a que los productos foráneos requieren ser transportados grandes distancias, lo cual implica un aporte de contaminantes considerable.

En este sentido, modificar nuestro estilo de vida y realizar las acciones antes sugeridas reducirá nuestras emisiones de carbono hacia la atmósfera del planeta. Como humanidad tenemos un compromiso: asegurarnos de que nuestras decisiones nos proveerán de recursos naturales de cantidad y calidad suficientes para nosotros y, sobre todo, para las futuras generaciones (nuestros hijos, nietos, bisnietos, tataranietos, choznos [trastataranietos], etc.).

Francisco Guerra Martínez

Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México.

francisco.guerra@enesmerida.unam.mx

Referencias específicas

- Anderson, R. (2014), "Hidrato de metano, la energía oculta en el hielo", BBC. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140421_ciencia_verde_hidratos_metano_energia_hidrocarburos_np>, consultado el 10 de abril de 2019.
- Cubasch, U., D. Wuebbles, D. Chen, M. C. Facchini, D. Frame et al. (2013), "Introduction", en T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen et al. (eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge y Nueva York, Cambridge University Press. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2017/09/WG1AR5_Chapter01_FINAL.pdf>, consultado el 10 de abril de 2019.
- Hautala, S. L., E. A. Solomon, H. P. Johnson, R. N. Harris y U. K. Miller (2014), "Dissociation of Cascadia Margin Gas Hydrates in Response to Contemporary Ocean Warming", *Geophysical Research Letters*, 41(23):8486-8494.
- NASA (2019), "Cambio climático global. Signos vitales del planeta", *National Aeronautics and Space Administration*. Disponible en: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>>, consultado el 10 de abril de 2019.
- NOAA (2019), "Reconstrucción de la concentración de CO₂ a partir de núcleos de hielo", *National Center for Environmental Information*. Disponible en: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>>, consultado el 10 de abril de 2019.
- Stocker, T. F. y D. Qin (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Sulpis, O., B. P. Boudreau, A. Mucci, C. Jenkins, D. S. Trossman et al. (2018), "Current CaCO₃ dissolution at the seafloor caused by anthropogenic CO₂", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(46):11700-11705.

Lilia Guadalupe Tamayo Torres y Kelly Maribel Monja Mio

El destino *in vitro* de una célula vegetal

El cultivo *in vitro* permite obtener miles de plantas a partir de un fragmento vegetal dentro de un recipiente en un medio artificial. ¿Qué ocurre en el interior de las células de este fragmento para que cambien su destino celular y tomen el camino hacia la formación de una planta? En este artículo describimos los factores clave involucrados en el desarrollo *in vitro* de tejidos y órganos vegetales.

Las plantas poseen una extraordinaria habilidad de regeneración, característica que permite que, a partir de un fragmento vegetal (llamado explante), puedan producirse muchas plantas dentro de un recipiente en un medio artificial. Sin embargo, incluso después de mucho tiempo de estudio, existen diversas interrogantes que no han sido resueltas. ¿Qué ocurre en el interior de las células de este fragmento para que cambien su destino celular y tomen el camino hacia la formación de una planta? ¿Todas las células del explante son capaces de originar una nueva planta?

Básicamente, el cultivo *in vitro* consiste en cultivar un explante dentro de un recipiente que contiene un medio nutritivo de composición química definida, en condiciones asépticas, bajo luz y temperatura controladas. En este artículo abordaremos cómo se pueden obtener plantas a partir de las **células somáticas**, las cuales conforman el tejido del explante. En estas células ocurrirá una serie de eventos que conducirán al desarrollo de tejidos y órganos de una planta; dicho proceso es conocido como morfogénesis *in vitro*. A continuación describimos las rutas morfogénicas, algunos de los factores involucrados en la morfogénesis *in vitro*, y las condiciones del cultivo *in vitro* que pueden cambiar el destino de una célula vegetal.

Células somáticas

Todas aquellas células que forman parte del cuerpo de una planta.

Las rutas de la morfogénesis *in vitro*

En el cultivo *in vitro*, las células que conforman el tejido del explante (células somáticas) podrán seguir dos rutas morfogénicas alternativas: la organogénesis o la embriogénesis somática. La primera consiste en la formación de una **estructura monopolar** que da origen a un órgano (un brote o una raíz) y que se conecta con el explante. En cambio, la embriogénesis somática es la formación de estructuras bipolares (embriones somáticos), con meristemos de brote y de raíz, que permiten

Estructura monopolar

Estructura que da origen a un órgano, ya sea un brote o una raíz.



Embrión cigótico
 Futura planta que proviene de la unión de un gameto femenino y uno masculino.

el desarrollo de un organismo completo; a diferencia de la organogénesis, no hay una conexión con el explante. Un embrión somático es muy similar a un **embrión cigótico**, sólo que, a diferencia de éste, el primero no se generó a partir de la fecundación (unión de las células sexuales), sino a partir de una célula somática.

Ambas vías morfológicas pueden darse de forma directa o indirecta. En la primera, los órganos (brote o raíz) o los embriones somáticos son obtenidos directamente del explante; mientras que, en la segunda, después de ser cultivado, el explante primero genera una masa de células denominada callo, la cual después dará origen a un órgano o embrión (véase la Figura 1).

Independientemente de la forma directa o indirecta, estas dos rutas tienen diferentes etapas en las cuales son necesarias ciertas condiciones para lograr

un desarrollo exitoso. En el caso de la formación de brotes (organogénesis), luego de la inducción, etapa en la que se determinan las condiciones necesarias para generar una respuesta del explante, se forman nuevos nichos de células meristemáticas que conllevan al desarrollo del brote y, posteriormente, en otra etapa, se forma la raíz. Por otra parte, en la embriogénesis somática, luego de la inducción, se forman los embriones somáticos, los cuales pasarán por diferentes estados de desarrollo, hasta que finalmente se conviertan en plantas.

- **Todo comienza en un recipiente: una mezcla de factores**
- El desencadenamiento de ambos procesos morfológicos tiene en común que provienen de una mez-

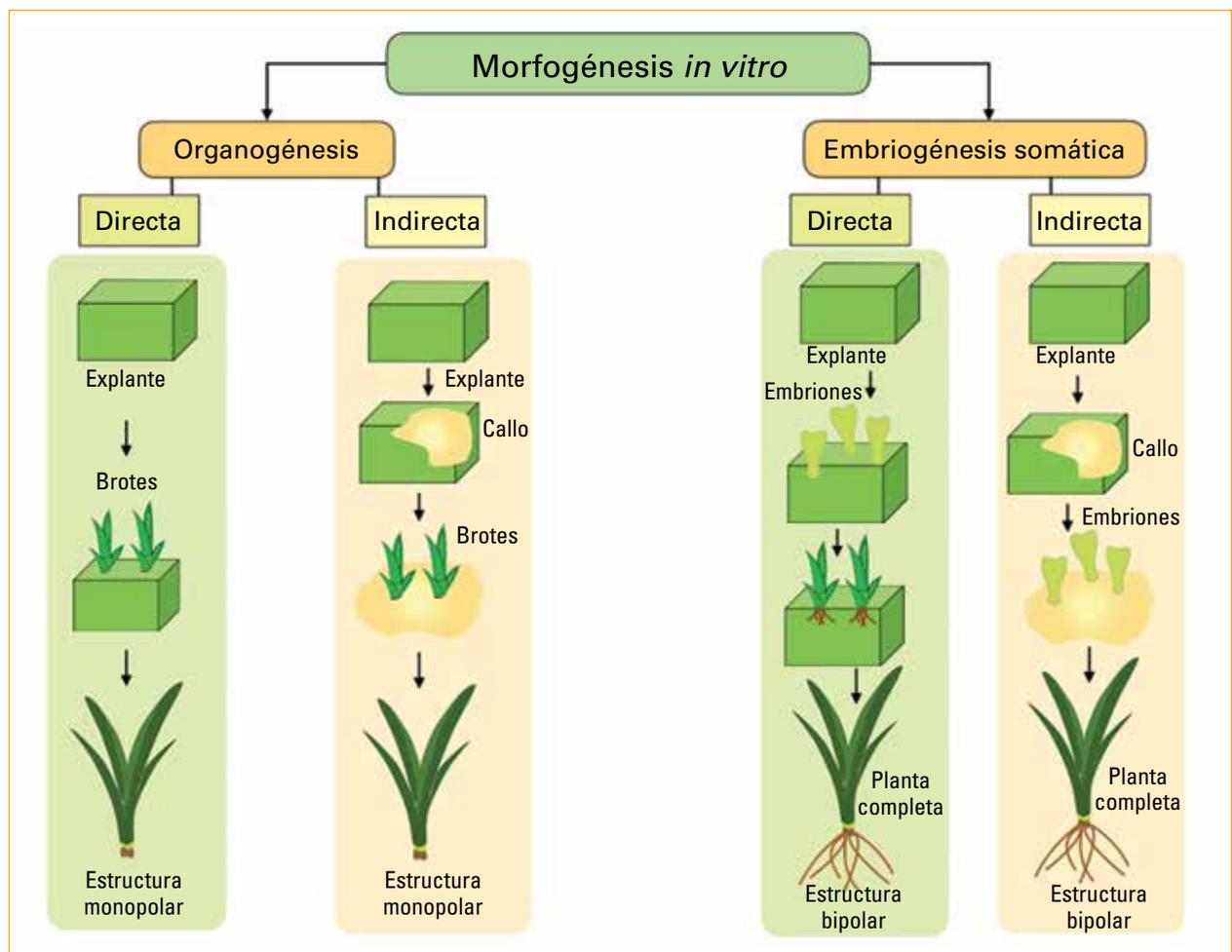


Figura 1. Rutas morfológicas: organogénesis y embriogénesis somática.

cla de factores en un recipiente. Entre los factores más importantes están: el material vegetal (el explante de la planta donadora), los reguladores de crecimiento (endógenos y exógenos) y el estrés ocasionado por el corte del explante y por las mismas condiciones del cultivo *in vitro* (véase la Figura 2). A continuación describiremos cada uno de ellos.

El material vegetal (explante de la planta donadora)

El explante es el pedacito de tejido tomado de la planta donadora, y es una parte fundamental para un exitoso establecimiento *in vitro*, ya que se ha documentado que la respuesta dependerá de diversos factores, como el tipo de tejido, el estado de desarrollo de la planta donadora (juvenil o maduro) y hasta el propio genotipo de la planta.

Una amplia variedad de tejidos –hojas, tallos, raíces y meristemas– se puede utilizar para los explantes

tes y éstos pueden ser capaces de regenerarse en un órgano (brotes o raíces) o en un organismo entero (embrión somático), bajo las condiciones de cultivo *in vitro* adecuadas. El estado de desarrollo de la planta también es importante, ya que se ha documentado que las plantas jóvenes son una mejor fuente de explantes, debido a que son más vigorosas, presentan más tejido en crecimiento y contienen menos microorganismos que una planta adulta.

Ahora, si tomamos el mismo explante, pero de diferentes especies, ¿la respuesta será igual? No precisamente. Se ha comprobado mediante la experimentación que, si tomamos un mismo tejido, pero de diferentes plantas de la misma especie, y lo sometemos a las mismas condiciones de cultivo, éste puede responder de diferentes maneras. Lo anterior se debe al genotipo, que se refiere a toda la información genética que existe en las células, la cual determina las

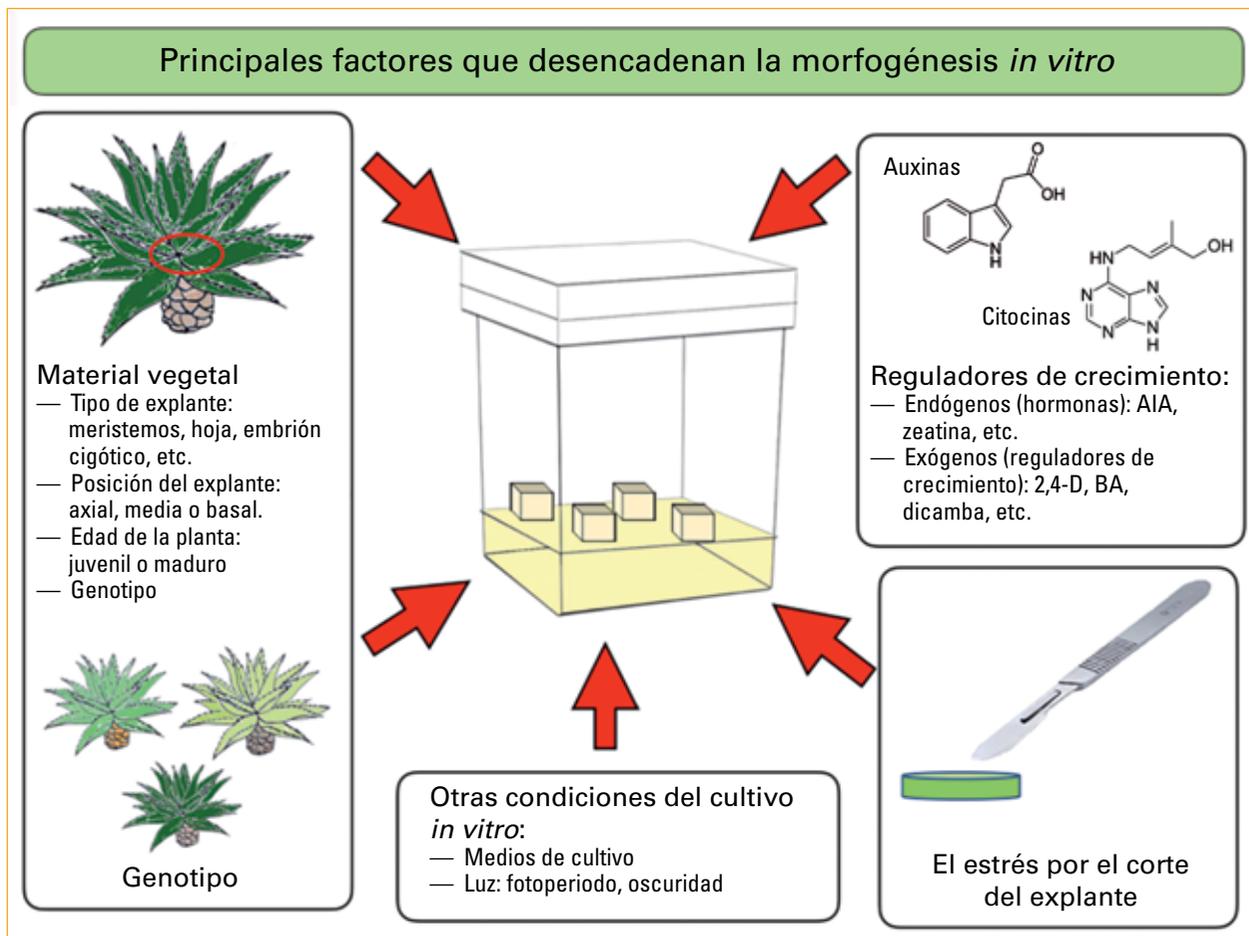


Figura 2. Factores que desencadenan la morfogénesis *in vitro* vegetal.

características morfológicas y fisiológicas de un organismo. Cada variedad de planta tiene un genotipo único, el cual regula su respuesta a las condiciones de cultivo *in vitro*, principalmente con relación a los reguladores de crecimiento; por ello, es importante determinar las condiciones que favorecen el crecimiento y desarrollo de cada especie vegetal, incluso para variedades de una misma especie.

Reguladores de crecimiento vegetal

Estas sustancias actúan sobre el desarrollo de las plantas y pueden ser producidas por ellas mismas (llamadas endógenas o comúnmente conocidas como hormonas vegetales), o bien pueden ser de origen sintético y ser agregadas al medio de cultivo (sustancias exógenas, denominadas por lo general como reguladores de crecimiento sintéticos). En la Tabla 1 se describen los principales grupos de reguladores de crecimiento vegetal, tanto naturales como sintéticos.

La concentración de estas sustancias es otro factor importante en el desarrollo de las rutas morfogénicas, ya que participan en la respuesta del explante. La concentración y el tipo de reguladores exógenos empleados determinarán la ruta morfogénica; sin

embargo, debemos considerar que el contenido endógeno de hormonas del explante también influye en la respuesta.

Los reguladores exógenos más utilizados en la morfogénesis *in vitro* son las auxinas y las citocininas (véase la Tabla 1). En general, para la inducción de la organogénesis, se utiliza una combinación de estos reguladores, mientras que para inducir la embriogénesis somática sobre todo se utilizan altas concentraciones de auxinas. El 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético) es una de las auxinas exógenas más utilizadas para ambas rutas morfogénicas, ya sea sola o en combinación con otros reguladores del crecimiento.

El estrés del cultivo *in vitro*

Las condiciones en las que se lleva a cabo el cultivo *in vitro*, como el corte del explante y el uso de reguladores de crecimiento sintéticos, actúan como estímulos en las células del explante y provocan una serie de alteraciones. La respuesta de las células ante estos estímulos es lo que conocemos como el estrés del cultivo *in vitro*.

Se ha señalado que el corte del explante produce un estrés en el tejido, lo que puede ser un paso

Tabla 1. Principales grupos de reguladores de crecimiento vegetal.

| Grupos | Endógenos: hormonas | Exógenos: reguladores de crecimiento sintético |
|-----------------|--|--|
| Auxinas | <ul style="list-style-type: none"> • Ácido indol – 3- acético (AIA) • 4- Cloro- AIA (4 Cl-AIA) • Ácido fenilacético | <ul style="list-style-type: none"> • 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D) • Ácido Naftalenacético (ANA) • Ácido 2-metoxi-3,6-diclorobenzoico (Dicamba) • 2,4,5 triclorofenoxiacético (2,4,5-T) • Ácido 4 amino-3,5,6- tricloropicolínico (Picloram) • Ácido Indol-3-butírico (AIB) • Ácido 4-Clorofenoxiacético |
| Citocininas | <ul style="list-style-type: none"> • Zeatina (trans y cis) • Dihidrozeatina • Isopentil-adenina | <ul style="list-style-type: none"> • Kinetina • Benciladenina (BA) • Tidiazuron (TDZ) |
| Giberelinas | <ul style="list-style-type: none"> • GA_n = 1.....+ 130 | <ul style="list-style-type: none"> • GA₃ • GA₄₊₇ |
| Ácido abscísico | <ul style="list-style-type: none"> • ABA: Ácido abscísico | |
| Etileno | <ul style="list-style-type: none"> • Etileno | <ul style="list-style-type: none"> • Ethephon (Ethrel) |

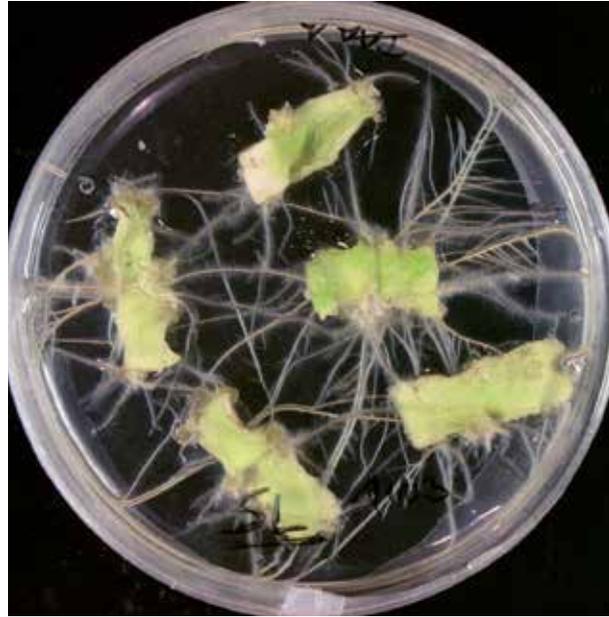
importante para romper la comunicación celular, ya que aísla a las células y las libera de su **programa genético**. Además, se ha documentado que cuando se corta el explante existe una concentración de reguladores endógenos en la zona cortada, lo cual permite la activación de una serie de señales, entre las que se puede incluir la expresión o represión de ciertos genes involucrados en el desarrollo morfogénico; esto conduce al cambio del destino celular.

Entonces, la respuesta del explante hacia una ruta morfogénica va a depender no sólo de los estímulos exógenos (corte del explante, reguladores de crecimiento sintéticos), sino también de los endógenos (hormonas vegetales). Estos estímulos hacen que las células del explante respondan y cambien su destino.

■ El destino de una célula vegetal: ¿qué ocurre en el interior de las células?

■ En general, la regeneración de las plantas mediante rutas morfogénicas ocurre en tres fases consecutivas: la pérdida de la identidad celular, la adquisición de la competencia y la realización. En la primera, las células pierden sus funciones especializadas de un tipo celular, tal como si perdieran la memoria. En la segunda fase, adquieren la competencia morfogénica, que tiene una relación directa con el tipo, la concentración y la combinación de reguladores del crecimiento agregados al medio de cultivo. En este paso las células adquieren capacidades (**pluripotencia** o **totipotencia**) y pueden responder a las señales exógenas que las estimulan y conducen hacia una ruta morfogénica. En la tercera fase ocurren sucesivas divisiones celulares y la formación del órgano o embrión.

Entonces, lo primero que las células necesitan para empezar el programa de regeneración es liberarse de aquello para lo que fueron programadas genéticamente. El estrés causado por el corte del explante da como resultado la pérdida de la comunicación entre las células del tejido. Al perder las interacciones celulares, éstas podrían quedar excluidas de la restricción de su destino impuesta por sus células vecinas. Además, el estrés de la herida induce la acu-



◀ Programa genético

Información que se encuentra en el ADN y marca la identidad, características y función de una célula.

mulación local de reguladores de crecimiento endógenos en el sitio del corte y modifica la biosíntesis de estos reguladores, lo cual provoca cambios en el estado de diferenciación de las células. No todas las células del explante o del callo van a responder a las señales. Tampoco todas las células del explante o callo van a ser pluripotentes o totipotentes; es decir, no todas las células van a originar a un órgano (pluripotencia) o a un embrión somático (totipotencia). La habilidad de las células para iniciar un programa de regeneración dependerá de si tienen la maquinaria molecular para liberar el programa de desarrollo en respuesta a las señales de estrés.

■ ¿Cómo ocurre la reprogramación genética de las células?

■ En cualquier programa morfogénico, las células deben abandonar el programa de su tejido original e iniciar una reprogramación genética, que resulta en la adquisición de la competencia para cambiar su destino celular (véase la Figura 3).

Los mecanismos que confieren flexibilidad a las células vegetales para regenerar una planta, aún son poco conocidos. Algunos autores sugieren que la remodelación de la cromatina puede ser la base de la plasticidad de los cambios en el destino celular.

◀ Pluripotencia

Capacidad de una célula madre para originar a la mayoría de células, pero no a todos los diferentes tipos de células que conforman el cuerpo de un organismo.

◀ Totipotencia

Capacidad de una célula para originar a todos los tipos de células que conforman a un organismo. Una célula puede pasar por todas las etapas de desarrollo y convertirse en un organismo completo.

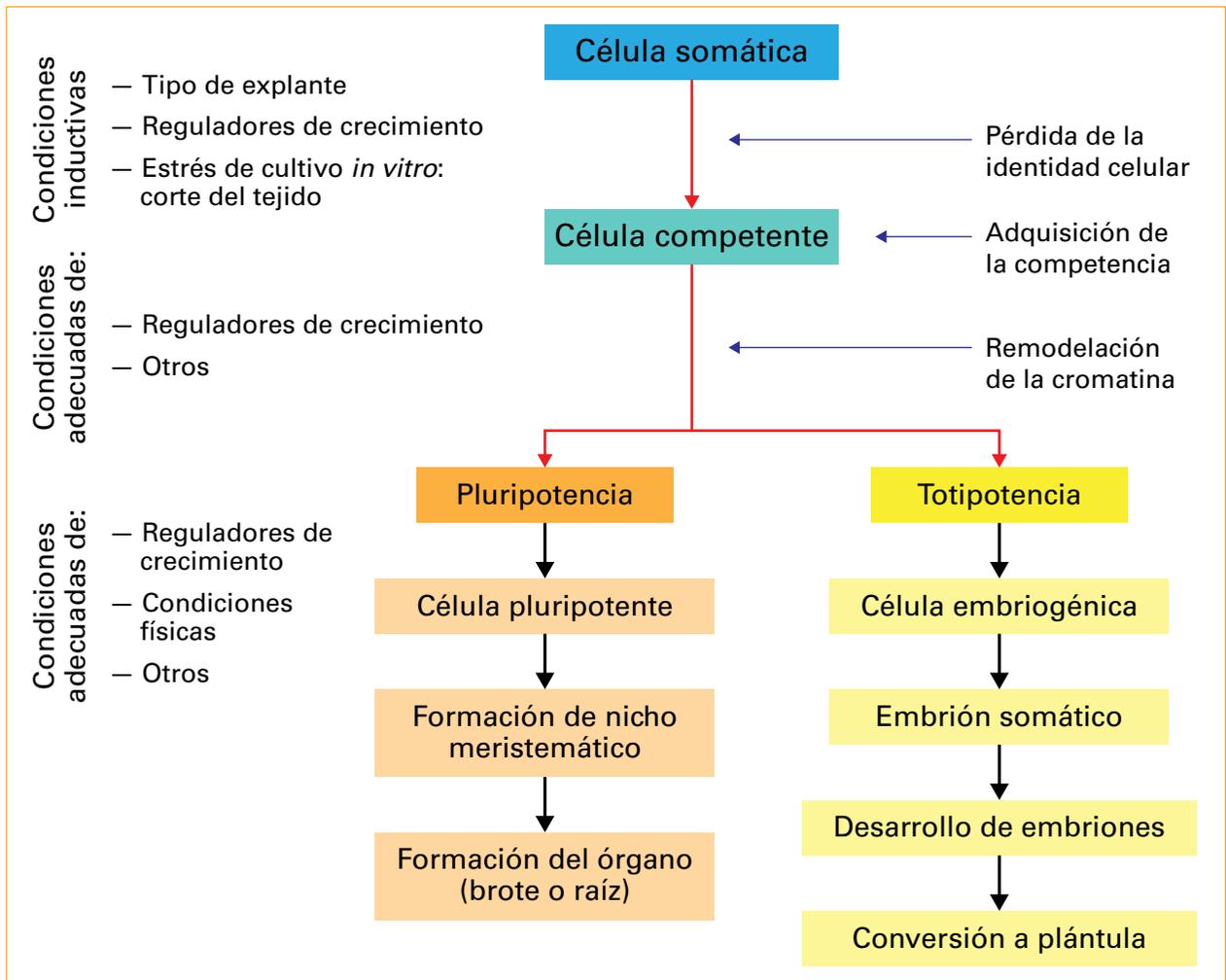


Figura 3. Transición de una célula somática a una célula pluripotente o totipotente.

Esta estructura compleja y dinámica se encuentra en el núcleo de la célula y está compuesta por el ADN (molécula que contiene la información genética) y por las proteínas que lo empaquetan (denominadas histonas). Diversos estudios han reportado que los mecanismos epigenéticos (aquellas modificaciones que no ocasionan cambios en la secuencia del ADN) pueden alterar la estructura de la cromatina y regular de esta manera la expresión de los genes. Entre estos mecanismos se encuentran la metilación del ADN y la modificación de las histonas. La primera consiste en la adición de grupos metilos a la cadena de nucleótidos, específicamente en las citosinas; mientras que la modificación de las histonas involucra la adición de diferentes radicales químicos, como acetilos (acetilación), metilos (metilación), grupos fosfato

(fosforilación), entre otros, a los aminoácidos de las proteínas.

En respuesta al estrés ocasionado por el cultivo *in vitro*, se lleva a cabo una reprogramación dinámica epigenética en las células, la cual conduce a la reprogramación de la expresión de los genes y al incremento de la plasticidad celular. Diferentes estudios en sistemas de cultivo de tejidos vegetales han reportado que la transición de una célula diferenciada a pluripotente o totipotente está acompañada de cambios epigenéticos. Estos múltiples modificadores de la cromatina se entrelazan para coordinar la transición del destino celular y el establecimiento de la pluripotencia o totipotencia. Posiblemente, durante el cambio del destino celular, se requiera de la **descondensación** de la cromatina para permitir la

Descondensación
Cambio en la organización del ADN para encontrarse menos compacto.

expresión de genes que se encuentran inactivos o reprimidos, por lo que la remodelación de la cromatina podría resultar en la activación específica de algún grupo de genes requeridos para el desarrollo morfogénico. Hay que recalcar que la activación de los genes y los mecanismos epigenéticos no son los mismos en ambas rutas morfogénicas, aunque algunos sí los comparten ambas.

En resumen

El estrés ocasionado por las condiciones *in vitro* (corte del explante, reguladores de crecimiento exógenos) permite que las células del explante modifiquen su destino celular. Las respuestas de las células (modificaciones epigenéticas y la expresión de los genes) conducen a una reprogramación celular. En el caso de la organogénesis, algunas moléculas dirigen la formación y el desarrollo de nuevos nichos de células meristemáticas para formar un brote; mientras que, en la embriogénesis somática, las células se reprograman y se vuelven totipotentes, a partir de lo cual generan un embrión que luego de desarrollarse pasará a convertirse en una planta.

Lilia Guadalupe Tamayo Torres

Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico de Mérida.

lilo_azul@hotmail.com

Kelly Maribel Monja Mio

Proyecto FORDECYT, Centro de Investigación Científica de Yucatán.

kellymabel@hotmail.com

Referencias específicas

- Fehér, A. (2015), "Somatic embryogenesis — Stress-induced remodeling of plant cell fate", *Biochimica et Biophysica Acta*, 1849(4):385-402.
- Fehér, A. (2019), "Callus, Dedifferentiation, Totipotency, Somatic Embryogenesis: What These Terms Mean in the Era of Molecular Plant Biology?", *Frontier in Plant Science*, 10:1-11.
- George, E. F., M. A. Hall y G. J. De Klerk (2008), *Plant Propagation by Tissue Culture*, 3.^{ra} ed., Países Bajos, Springer.
- Lee, K. y P. J. Seo (2018), "Dynamic Epigenetic Changes during Plant Regeneration", *Trends in Plant Science*, 23(3):235-247.
- Radhakrishnan, D., A. Kareem, K. Durgaprasad, E. Sreeraj *et al.* (2018), "Shoot regeneration: a journey from acquisition of competence to completion", *Current Opinion in Plant Biology*, 41:23-31.
- Sang, Y. L., Z. J. Cheng y X. S. Zhang (2018), "Plant stem cells and de novo organogenesis", *New Phytologist*, 218:1334-1339.
- Sugimoto, K., H. Temman, S. Kadokura y S. Matsunaga (2019), "To regenerate or not to regenerate: factors that drive plant regeneration", *Current Opinion in Plant Biology*, 47:138-150.
- Verdeil, J., L. Alemanno, N. Niemenak y T. J. Tranbarger (2007), "Pluripotent versus totipotent plant stem cells: dependence versus autonomy?", *Trends in Plant Science*, 12(6):245-252.

Rogelio Manuel García Solís, Patricia Herrera Paniagua y Mónica Yanira Rodríguez Pérez



Ranas y sapos, el porqué de su conservación

Los anuros son un grupo de anfibios que incluye a las ranas y a los sapos. Estos organismos son tanto depredadores como presas en los diversos ecosistemas. Se ha observado que, en el mundo, las poblaciones de anuros han disminuido, e incluso han llegado a la extinción. Este problema se atribuye al impacto humano y al cambio climático global, así como a las enfermedades que afectan a estas especies.

¿Qué son los anfibios?

Los anfibios son animales vertebrados tetrápodos; es decir, son organismos que tienen una columna vertebral y cuatro patas. Su nombre viene del griego *amphí* y *bios*, que significa “ambas vidas”, lo cual se refiere a que en una etapa de sus vidas son completamente acuáticos y en otra son terrestres. También son organismos ectotermos, pues su temperatura corporal depende de la temperatura externa; esto es, la exposición al ambiente externo influye en la temperatura del organismo para realizar sus funciones metabólicas. Entre una de las estrategias de estos animales destaca la búsqueda de refugios con suficiente humedad y sombra para mantener su cuerpo hidratado y evitar su desecación; también en estos ambientes húmedos y cuerpos de agua llevan a cabo su reproducción.

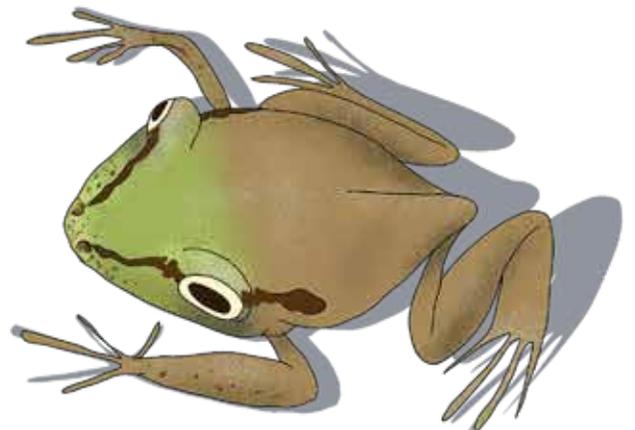
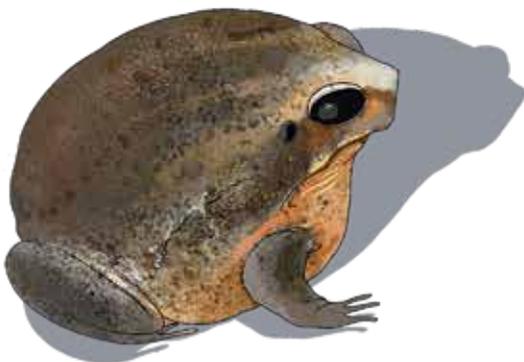


Descripción de los anuros

Los anfibios modernos se clasifican en tres órdenes: anfibios con cola (orden Caudata), que incluye a las salamandras y a los tritones; anfibios sin cola (Anura), que corresponde a las ranas y a los sapos; y anfibios sin patas (Gymnophiona), que se refiere a las cecilias, organismos con aspecto de gusanos. Las especies más abundantes y diversas son las de las ranas y los sapos, en conjunto denominados anuros, que se caracterizan por tener un cuerpo corto y dos patas traseras largas y fuertes con una musculatura bien desarrollada, necesaria para generar el impulso y la fuerza que permite su característico movimiento en saltos. Las patas delanteras son más cortas que las traseras, para dar estabilidad y dirección a su movimiento.

El ciclo de vida de los anuros comienza cuando los espermatozoides del macho fecundan los óvulos de las hembras durante el **amplexo**, ya sea en el agua o cerca de ella. Los óvulos y espermatozoides se unen y forman un embrión llamado renacuajo, el cual parece un pez porque tiene cola y unas branquias localizadas dentro de la cavidad bucal, con las que toma el oxígeno del agua. En este estadio, su alimento se compone de material vegetal (algas). Después de un tiempo, los renacuajos cambian mediante el proceso llamado metamorfosis, durante el cual absorben las branquias y empiezan a formar pulmones, además de que absorben la cola y desarrollan patas que les van a servir para moverse en tierra. La dieta también cambia, ya que el intestino se acorta, la boca se agranda y se forma una larga lengua, por lo que ahora es un

Amplexo
Modo de apareamiento en el que el macho abraza o monta a la hembra.



organismo depredador, al que le encanta la carne de insectos, peces e incluso otros anfibios. Todo esto le permite cambiar de una vida acuática a una meramente anfibia; esto es, ya puede sobrevivir en agua y en tierra.

La característica más importante de los anuros es su piel, la cual, aparte de brindarles protección del exterior y de recubrir los órganos internos, realiza gran parte de la respiración. La piel no tiene protección de escamas, plumas o pelo; en cambio, es muy delgada, húmeda y con muchos vasos sanguíneos que ayudan a dispersar el calor y facilitan la entrada de oxígeno y la expulsión de dióxido de carbono hacia el medio externo; así, se realiza el intercambio de gases y el transporte de la sangre oxigenada por el cuerpo de los anuros.

Otra función valiosa de la piel es la producción de diversos pigmentos. Algunos de éstos son los carotenoides y las pteridinas, que dan los colores amarillos, naranjas y rojos; mientras que los colores negros y

marrones son dados por las melaninas. También se producen purinas, las cuales ayudan a reflejar la luz en diferentes longitudes de onda, y esto confiere a la piel de los anuros brillo y cambio de coloración. Todos estos pigmentos son producidos por células específicas en la piel llamadas cromatóforos, que tienen diferentes funciones. Por ejemplo, unos les permiten a los anuros camuflarse en una roca, debajo de una hoja o en un tronco (función llamada mimetización) (véase la Figura 1); mientras que los más vistosos y llamativos sirven para advertir del potencial peligro que algunas especies de ranas y sapos representan.

Esto último se debe a que algunas especies de las familias Dendrobatidae (que habitan en Centro y Sudamérica) y Bufonidae (de la cual los más conocidos son los sapos) cuentan con glándulas secretoras de veneno en las regiones timpánicas (a los lados de la cabeza), dorsales y en las patas. En algunos casos, el veneno puede provocar alucinaciones, efectos analgésicos e incluso la muerte. Va-



Figura 1. Mimetización de una ranita de las rocas (*Dryophytes arenicolor*) con su entorno.

rios estudios han observado que la composición del veneno puede llegar a depender directamente de la alimentación. En México, el sapo del desierto sonorenses (*Incilius alvarius*) produce dos sustancias altamente alucinógenas (bufotenina y 5-metoxi-dimetiltriptamina), las cuales pueden ser tóxicas y provocar algunos trastornos cardiovasculares e intestinales, o incluso la muerte.

Amplia diversidad de los anuros

 Existen 7 151 especies de ranas y sapos, lo que representa 88% de todos los anfibios del mundo. En México se registran 242 especies de anuros (4% de las especies a escala global), de las cuales 60% son endémicas, llamadas así porque tienen una distribución geográfica reducida y sólo se encuentran en nuestro país. Los grupos que destacan en México por su número de especies endémicas son las ranas arborícolas (familia Hylidae) y las ranas de hojarasca (Craugastoridae), con 68% y 67% de especies endémicas, respectivamente. Los estados que sobresalen por su riqueza de anuros son: Oaxaca (95 especies), Chiapas (72 especies), Veracruz (60 especies)¹ y Guerrero (52 especies). En esta región, los bosques mesófilos y las selvas altas se reportan como reservorios importantes de estos organismos.

En general, los anuros se encuentran en diversos ecosistemas, tanto en hábitats acuáticos como terrestres, subterráneos (fosoriales) y arborícolas, en prácticamente todos los continentes (excepto en los polos). De acuerdo con sus hábitats, los anuros pueden presentar diferencias morfológicas dependiendo de su forma de vida. Por ejemplo, los anuros arborícolas –por lo general, especies de la familia Hylidae– son organismos que viven y están adaptados a trepar en la vegetación, ya sean hojas de árboles, bromelias en los estanques, cortezas o hierbas. Esto se facilita porque tienen cuerpos planos y las



puntas de los dedos de las patas ensanchados, los cuales tienen discos adhesivos que secretan sustancias químicas que sirven como pegamento y permiten la adhesión a las superficies para poder escalar sobre las plantas. En México, existen especies con este hábito, como la endémica rana de árbol de orejas chicas (*Ecnomiohyla miotympanum*) (véase la Figura 2).

Además de las especies que viven en la parte alta de los árboles y arbustos, existen también aquellas que se encuentran en la hojarasca que se acumula en el suelo debajo de la vegetación. Los anfibios de este grupo tienen patas traseras de una longitud intermedia (de 3 a 8 cm), en comparación con las de los anuros arborícolas y los subterráneos. Un claro ejemplo es la ranita chirriadora del río Bravo (*Eleutherodactylus cystignathoides*).

Por otra parte, los anuros que son subterráneos tienen una cabeza más chica y estrecha que les permite comer insectos pequeños, como hormigas y termitas que viven bajo tierra. También se distinguen por sus patas traseras cortas con cuatro dedos, ya que, evolutivamente, el quinto dedo se redujo a la forma de un tubérculo o callo que mejora su capacidad de excavación. Estos animales viven en climas áridos o muy estacionales, como el sapo excavador mexicano (*Rhinophrynus dorsalis*) y el sapo nebuloso (*Incilius nebulifer*).

En cambio, aquellos anuros que conservan sus hábitos acuáticos, y que viven en charcas y arroyos, tienen la cabeza puntiaguda, un cuerpo hidrodinámico

¹ En sitios de entierros ceremoniales de la cultura olmeca se han encontrado estructuras óseas y partes de piel de ranas y sapos, así como figuras elaboradas en cerámica para representar a estos animales. Actualmente algunas poblaciones siguen utilizando estos objetos en sus ceremonias religiosas.



Figura 2. Amplexo de la rana de árbol de orejas chicas (*Ecnomiophyla miotypanum*). Existe un dimorfismo sexual muy marcado: el individuo más pequeño es el macho, mientras que la hembra puede medir hasta el doble que el macho.

mico y las extremidades posteriores muy largas, con dedos largos y membranas interdigitales (similares a las aletas de buzo), lo cual les ayuda a desplazarse. Las especies que habitan en arroyos tienen, en general, mayores requerimientos de oxígeno disuelto y, por lo tanto, para sobrevivir, necesitan que el agua no esté contaminada, como en el caso de las ranas leopardo (del género *Lithobates*).

■ **Importancia de los anuros en los ecosistemas**

■ Los anuros constituyen una parte muy importante en la ecología de los ecosistemas, tanto en los desiertos como en los bosques. Algunas investigaciones han mostrado que, cuando estos organismos son removidos de los hábitats (por contaminación o destrucción), los ecosistemas se ven alterados porque aumentan las poblaciones de especies nocivas, por

ejemplo, algunos insectos (mosquitos, chinches, grillos, etc.) que pueden llegar a ser plagas. Además, el incremento de estos insectos, como los mosquitos, representa un problema de salud, puesto que son vectores de enfermedades y, al aumentar sus poblaciones y expandir sus áreas de distribución, van a transportar y diseminar enfermedades como la malaria y el dengue de una manera alarmante a escala global. A su vez, el aumento de estas especies nocivas propicia el desplazamiento de otros insectos, como libélulas y escarabajos, los cuales son fertilizadores de suelo y forman una parte esencial en la dieta de otros anfibios, lo que provocaría un descenso de sus poblaciones, aun cuando hayan podido soportar los cambios en el hábitat.

Asimismo, los anuros tienen un lugar importante en la cadena trófica porque sirven de alimento a organismos más grandes, como aves (garzas, aves de

rapiña pequeñas), mamíferos pequeños (mapaches, tlacuaches, zorras), otros anfibios (las ranas acuáticas del género *Lithobates* se alimentan de salamandras o de renacuajos de otras especies de anuros) e incluso seres humanos. Para garantizar su permanencia, una de las estrategias de estos organismos consiste en producir miles de crías por camada, lo cual es posible porque no requieren de cuidado parental; es decir, los adultos no protegen a los renacuajos después de su nacimiento. Además, las crías también desempeñan un papel importante en el mantenimiento de la salud de los ecosistemas de agua dulce, debido a que controlan el crecimiento de algas en los ríos y lagos, sin lo cual se favorece la **eutrofización** de estos sistemas y, con ello, se ven afectados otros organismos, como los peces.

Conservación de los anuros

Los anuros son un grupo muy vulnerable y amenazado por muchas de las actividades humanas, de manera tanto directa como indirecta. Desde finales de la década de 1980 se ha descrito el declive poblacional y la extinción de anfibios alrededor del mundo. Para nuestro país, según la Norma Oficial Mexicana sobre la Protección de Especies Nativas de México (NOM-059-SEMARNAT-2010), existen siete especies de anfibios que están en peligro de extinción, hay 42 amenazadas y 150 tienen requerimientos de protección especial. También se considera que otras 42 especies son vulnerables y de un 14% no se tiene suficiente información para asignarlas a alguna categoría. Por otra parte, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) en 2018 reportó que, para México, existen 242 especies de anuros amenazadas, e incluso extintas. Estos números advierten el problema de conservación que enfrentan estos animales.

Los factores identificados como causantes del declive de los anfibios son de diferente índole, como la destrucción del hábitat, el cambio de uso de la tierra, la deforestación, la contaminación del ecosistema (por ejemplo, debido a los insecticidas y detergentes), así como la explotación de los recursos naturales, la introducción de especies exóticas, el cambio

climático global, o bien las enfermedades infecciosas emergentes. Para México, se ha propuesto que, por lo menos, 50% de las especies microendémicas (que sólo habitan en un espacio muy reducido y no se encuentran en otro lugar) necesitan urgentes medidas de conservación; la mayoría se distribuye en los estados de Veracruz, Puebla, Hidalgo, Chiapas, Guerrero y Oaxaca, entre otros.

En particular, la exposición directa al ambiente (suelo o agua) y la extrema permeabilidad de su piel, además del hecho de que sus huevos no tienen una pared protectora, hacen que estas especies sean muy vulnerables a la absorción de sustancias tóxicas, como metales pesados y pesticidas. Los anuros pueden fungir como verdaderos registros de la salud de los ecosistemas, pues son tan delicados que cualquier modificación del entorno provoca afectaciones en sus funciones metabólicas; esto permite que “guarden” evidencias de todos aquellos factores que tienen un impacto en su hábitat, incluso antes de que otras especies —incluida la especie humana— los detecten. Por esta razón, se les considera los centinelas del ecosistema, puesto que vigilan y registran todos los cambios ocurridos en éstos.

El factor del cambio climático está relacionado de manera intrínseca con otras causas antropogénicas del declive de los anuros, y algunos de estos efectos ya son evidentes. Por ejemplo, se ha observado que conforme aumenta la temperatura se puede adelantar la temporada de reproducción, pero esto hace que muchos anfibios estén más expuestos a las heladas tardías. Asimismo, en los cuerpos de agua temporales que sirven a las ranas y a los sapos para su reproducción, el aumento de la temperatura durante periodos más prolongados provoca que los niveles de agua disminuyan dramáticamente por la evaporación. Lo anterior implica que no existan sitios adecuados para la reproducción y el desarrollo de los huevos y renacuajos; las larvas mueren porque no tienen el tiempo suficiente ni las condiciones necesarias para completar la metamorfosis.

Otro factor alarmante relacionado con el cambio climático es el aumento y la dispersión de epidemias de enfermedades infecciosas que ocasionan el declive de las poblaciones de anuros, e incluso la

Eutrofización

Proceso de enriquecimiento de las aguas con nutrientes, lo que origina un aumento en el fitoplancton y la pérdida de la calidad del agua.

Desequilibrio osmótico
 Pérdida metabólica de la capacidad de retener y expulsar iones de sodio y magnesio disueltos en el agua.

extinción de especies. Tal es el caso de la quitridiomycosis, una enfermedad provocada por el hongo patógeno *Batrachochytrium dendrobatidis* que infecta la piel de los anfibios y causa diferentes afecciones:

1) laceraciones leves a severas que provocan un **desequilibrio osmótico** y, a largo plazo, fallo cardíaco; 2) hiperqueratinización, un engrosamiento de la piel que lleva al bloqueo del intercambio gaseoso, lo que ocasiona fallo respiratorio; así como 3) intoxicación, puesto que el hongo libera toxinas que poco a poco van intoxicando a los organismos hasta matarlos. Todo esto provoca que los anfibios infectados por este hongo mueran aproximadamente entre una a dos semanas.

Se han reportado casos aislados de anfibios que son resistentes a este patógeno, lo que implica que no mueren; sin embargo, pueden transmitir el virus a los seres humanos. Algunas de estas especies se utilizan como alimento (ancas de rana), como mascotas y para experimentación; por mencionar algunos ejemplos: la rana toro (*Lithobates catesbeianus*), la rana africana (*Xenopus laevis*) y la rana arbórea de ojos rojos (*Agalychnis callidryas*). El comercio de estos organismos y su introducción en diversos sitios favorece la propagación de la enfermedad, lo cual repercute en las especies nativas.

Adicionalmente, la incidencia de las actividades humanas en los ecosistemas constituye otro factor que afecta la conservación de los anfibios. La cons-

tante alteración del hábitat ha terminado por afectar de manera importante la distribución geográfica de muchas de las especies de anuros. Por ejemplo, la rana de Tláloc (*Lithobates tlaloci*) es una especie endémica mexicana que contaba con una distribución histórica en el Valle de México, pero recientemente no se le ha visto en vida silvestre. La principal alteración directa en su hábitat se debe a la deforestación. La vegetación ribereña constituye el lugar idóneo para que varias especies de anuros desarrollen su ciclo de vida, puesto que ahí encuentran refugio y alimento; sin embargo, este tipo de vegetación ha sido muy impactada por las actividades humanas y se considera que, en nuestro país, sólo 2% permanece como ecosistema natural.

Otro factor dañino es la contaminación de los ríos, lagos, pozas, charcas, o cualquier cuerpo de agua. Debido a que los anuros respiran por la piel, fácilmente quedan expuestos a los cambios fisicoquímicos (pH, cantidad de oxígeno disuelto, turbidez, metales pesados, etc.) de los cuerpos de agua, lo que altera su fisiología (por ejemplo, su respiración cutánea) y su ecología (disminución de presas). Si bien existen algunas especies de ranas y sapos que son altamente resistentes a las alteraciones del hábitat (como las del género *Lithobates*, sobre todo la especie *Lithobates sylvaticus*), la gran mayoría no puede adaptarse de manera adecuada, lo cual significa su desaparición o extinción. Asimismo, hay una razón



cultural relacionada con los miedos injustificados hacia estos organismos, ya que han sido estigmatizados como dañinos, ponzoñosos y asociados a la brujería, lo que en última instancia provoca la muerte de muchos de éstos, sin razón.

■ **¿Qué nos toca hacer como sociedad?**

■ Las ranas y los sapos tienen una belleza innata por su gran variabilidad de formas y colores; todo ello, en conjunto con su gran utilidad como alimento para otros animales y para el control de plagas, los hace ser organismos excepcionales. Si los seres humanos prestásemos más atención a estas especies, entenderíamos por qué los anuros, y en general los anfibios, pueden mantener el equilibrio de los ecosistemas, lo que a la larga ayuda a su conservación.

El monitoreo de especies realizado por especialistas científicos ha probado ser un excelente mecanismo para identificar y rastrear las perturbaciones ambientales que suceden en sus hábitats. No obstante, es muy difícil encontrar a los anuros (y en general a los anfibios), porque durante gran parte del día se mantienen ocultos en madrigueras, bajo la hojarasca, en las copas de los árboles o entre la vegetación. Por ello, se deben emplear diversas técnicas de estudio, desde búsqueda, conteo y observación de sus poblaciones en los hábitats, hasta complejos análisis moleculares para la identificación de las especies y aquellos métodos que hacen uso de tejidos para determinar su dieta, como son los isótopos estables. Las técnicas más actuales se basan en el muestreo de pequeñas cantidades de sedimento y agua, con el fin de encontrar especies que difícilmente pueden ser observadas mediante avistamientos.

Aunque la ciencia ha hecho un importante trabajo para tratar de conservar a estos organismos, aún existen grandes faltantes de información acerca de su ecología y distribución, por lo que es necesario documentar estos aspectos. El estudio de las poblaciones de anuros nos permitiría generar planes de manejo a corto y largo plazo para la conservación y recuperación paulatina tanto de especies como de hábitats. Entonces, la sociedad debe tomar conciencia sobre la gran importancia de los anuros y aumentar su co-

nocimiento para dejar de lado las supersticiones que atentan contra sus poblaciones. En general, una de las acciones más necesarias es evitar maltratar o matar tanto a ranas como a sapos, y tratar de comprender que estos organismos no son dañinos, sino muy importantes, por la función que deben cumplir en la naturaleza.

Rogelio Manuel García Solís

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro.

royerdrac.25fr@gmail.com

Patricia Herrera Paniagua

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro.

patricia.herrera@uaq.mx

Mónica Yanira Rodríguez Pérez

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro.

yanirarperez@gmail.com

Referencias específicas

- AmphibiaWeb (2019), *Acerca de los anfibios*, Berkeley, Universidad de California. Disponible en: <<https://amphibiaweb.org>>, consultado el 24 de noviembre de 2019.
- Cothran R., J. Brown y R. Relyea (2013), "Proximity to agriculture is correlated with pesticide tolerance: evidence for the evolution of amphibian resistance to modern pesticides", *Evolutionary Applications*, 6(5):832-841.
- Field-Cortazares J. (2011), "Envenenamiento por contacto directo con ranas venenosas", *Boletín Clínico del Hospital Infantil del Estado de Sonora*, 28(1):38-42.
- Mendoza-Almeralla C., P. Burrowes y G. Parra-Olea (2015), "La quitridiomycosis en los anfibios de México: una revisión", *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1):238-248.
- Parra-Olea G., O. Flores-Villela y C. Mendoza-Almeralla (2014), "Biodiversidad de anfibios en México", *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: S460-S466.
- Wake, D. y V. Vredenburg (2008), "Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians", *PNAS*, 105(S1):11466-11473.

Zulema Juárez Orozco, Juan Fernando García Trejo y Claudia Gutiérrez Antonio



Revalorización de residuos

La transformación de los residuos derivados de un proceso permite generar nuevos productos, los cuales contribuyen a diversificar el portafolio comercial de las empresas, así como sus ingresos. Al mismo tiempo, la revalorización de los residuos coadyuva a resolver el problema de contaminación asociado con sus altos volúmenes de generación.

Introducción

La sociedad actual emplea una gran variedad de productos en sus actividades cotidianas, entre los cuales se incluyen enseres domésticos, alimentos, dispositivos electrónicos, ropa, vehículos y herramientas de diversos tipos. Además, debido al incremento poblacional, la demanda de estos productos continúa en ascenso y, como consecuencia, se requiere una mayor cantidad de materias primas para poder generarlos. Si bien este incremento en el consumo es bueno para los sectores productivos, una de las consecuencias no deseables de esta dinámica de producción es el aumento en la generación de los residuos; esto es, aquellos materiales que quedan después de haber realizado un trabajo u operación (RAE, 2019). Es decir, en el proceso de producción de un bien se van generando residuos o desperdicios, los cuales son materiales que ya no son útiles para el proceso del cual se derivan.

Existen diferentes tipos de residuos, dependiendo de la fuente de la cual se originen. Por ejemplo, los residuos sólidos municipales son aquellos generados en los hogares como resultado de las actividades cotidianas de alimentación, higiene y limpieza. Por otra parte, los residuos industriales se generan en los procesos productivos a gran escala, y pueden ser de diversos tipos. En la industria de la producción de jugos y néctares, las cáscaras y las semillas de las frutas procesadas son consideradas residuos; mientras que, en las empresas productoras de mobiliario, los residuos incluyen restos de madera, pinturas, solventes, textiles, entre otros. Muchos de estos residuos se generan en grandes volúmenes, por lo que, en la mayoría de los casos, representan un problema de contaminación. Usualmente, la disposición de estos residuos genera un costo adicional para las empresas, lo cual merma las utilidades derivadas de la venta del producto principal. No obstante, estos materiales aún podrían emplearse, ya sea de manera directa o mediante

algún tipo de procesamiento, para generar otros productos; a esta propuesta se le conoce como revalorización de residuos.

Los residuos pueden revalorizarse mediante diferentes procesos de transformación, los cuales pueden ser físicos, químicos y biológicos. En todos estos procesos pueden obtenerse diferentes tipos de productos, los cuales pueden incluir combustibles, alimentos para animales, plásticos y compuestos químicos. El aprovechamiento de estos materiales para la generación de nuevos productos posibilita una reducción significativa de los costos asociados con la disposi-

ción de dichos residuos. Esto constituye una estrategia muy interesante para las empresas del sector privado, ya que sus residuos se transforman en fuentes de ingresos, o bien pueden ser aprovechados dentro de algún proceso; así, las empresas se robustecen, diversifican sus portafolios, disminuyen sus residuos y maximizan sus ganancias. Por ello, la revalorización de los residuos es de gran importancia.

En el presente artículo se describirán las etapas necesarias para la revalorización de los residuos, que incluyen la caracterización del residuo y la elección de la estrategia más adecuada para su procesamiento.



Posteriormente, se presentará un análisis preliminar para la revalorización de residuos en la empresa CNH de México.

■ **Caracterización de los residuos**

■ Toda materia prima tiene una composición química asociada que le confiere sus propiedades. En general, una de las formas más comunes para caracterizar a una materia prima se basa en la naturaleza química de los componentes que la integran. En esta clasificación se consideran los siguientes tipos: triglicéridos, azúcares, almidones y lignocelulosa. Los primeros son todos aquellos materiales que constan de triglicéridos y ácidos grasos; por ejemplo, los aceites residuales del procesamiento de alimentos, o bien aquellos que se derivan de su uso, como los lubricantes en las máquinas industriales. Por otra parte, las materias primas también pueden incluir azúcares y almidones; tal es el caso de los residuos de la industria de la confitería. Por último, los materiales lignocelulósicos son aquellos residuos derivados del procesamiento de alimentos, como los bagazos y cáscaras, entre otros.

De esta manera, una vez que se conoce la composición de los residuos se puede evaluar el tipo de productos que pueden generarse a partir de ellos; entre éstos se pueden incluir compuestos de alto valor agregado, productos químicos, o bien biocombustibles (véase el artículo “Cadena de suministro para la producción de biocombustibles” en este número). Ejemplos de productos de alto valor agregado son aquellos que pueden emplearse en el sector alimenticio, farmacéutico y biotecnológico; uno de estos compuestos es la cafeína que se extrae del **cascabillo** del café, y que es utilizada en la producción de bebidas energéticas. Por otra parte, entre los productos químicos se encuentran aquellos compuestos que se emplean como solventes, reactivos o precursores para la fabricación de pinturas y plásticos, entre otros. En tanto, los biocombustibles que pueden generarse en estado líquido son el bioetanol, biobutanol, biodiésel, bioturbosina y diésel verde; en estado gaseoso, el gas de síntesis, gas natural y biogás; mientras que los pellets son los biocombustibles sólidos más populares.

Cascabillo →
Cascarilla que envuelve
al grano de café.

La caracterización de los tipos de residuos es el paso más importante en el proceso de revalorización, ya que los productos a generarse dependen de las características de los residuos. Por ejemplo, si el residuo consiste únicamente en material lignocelulósico, y éste posee una alta cantidad de lignina, la mejor alternativa es utilizarlo para generar un biocombustible sólido. Este residuo también podría emplearse para producir bioetanol; sin embargo, el proceso de conversión no sería tan eficiente, dado que la lignina contenida no se convierte en azúcares que puedan fermentarse para generar bioetanol.

Además de evaluar el tipo de componentes presentes en los residuos, también es importante verificar sus cantidades, pues si éstas son muy pequeñas, el proceso de recuperación o extracción puede ser demasiado costoso; es decir, la relación costo-beneficio no es la más adecuada. Por ello, una vez que los residuos han sido caracterizados y sus componentes cuantificados, se pueden elegir los productos con mayor potencial para su producción. A partir de los productos seleccionados, entonces se determinan las tecnologías de procesamiento, las cuales se presentan en la siguiente sección.

■ **Tecnologías de procesamiento**

■ Como se mencionó anteriormente, existen tecnologías físicas, químicas y biológicas para el procesamiento de los residuos, las cuales se describen a continuación.



Tecnologías físicas

Por medio de las tecnologías físicas de procesamiento se modifica el tamaño de la partícula del residuo (mediante trituración o molienda), su contenido de humedad (secado), o bien su densidad (densificación o compactación). A continuación, se presentan ejemplos de nuevos productos que se obtienen de la aplicación de este tipo de tecnologías.

Por ejemplo, los residuos de la industria forestal pueden ser triturados para obtener astillas de madera, las cuales se emplean como combustible en instalaciones térmicas tanto residenciales como industriales. Adicionalmente, mediante esta tecnología también pueden revalorizarse residuos de la industria mobiliaria, así como de transporte de maquinaria industrial.

Por otra parte, los residuos derivados de la cosecha de alimentos usualmente poseen bajas densidades (volúmenes elevados y reducido peso), así como altas cantidades de carbono. Esto último los hace susceptibles de emplearse como combustibles; no obstante, su baja densidad encarece mucho su transporte y complica su manejo. Por ello, la tecnología de densificación es empleada en los residuos agroindustriales para compactarlos en forma de pequeños cilindros de 6-8 mm de diámetro y con longitudes desde 3.15 mm hasta 40 mm (ISO, 2019); estos pequeños cilindros son conocidos como pellets y pueden reemplazar al carbón vegetal en las centrales carboeléctricas para la generación de energía eléctrica (Martínez-Guido y cols., 2019).

Asimismo, el proceso de secado se usa para la revalorización de los residuos. Por ejemplo, el excremento de aves de corral, debido a que posee altas cantidades de proteínas, se utiliza como materia prima para la fabricación de alimento para este tipo de animales. No obstante, este material debe secarse primero para eliminar tanto las bacterias nocivas como el exceso de humedad. Una vez que se reduce el contenido de humedad, este material se mezcla con melaza, para así obtener alimento para aves de corral. Como puede observarse, las tecnologías de procesamiento físico son relativamente sencillas y posibilitan la generación de nuevos productos útiles o comercializables.

Tecnologías químicas

Otra manera de modificar la composición de los residuos es mediante reacciones químicas. Entre las más comúnmente utilizadas se encuentran la combustión, la pirólisis y la gasificación.

La combustión es un proceso en el cual una materia prima libera su energía contenida; como productos se generan dióxido de carbono y agua. La energía liberada en este proceso se puede emplear para calefacción, generación de vapor, o bien generación de energía eléctrica; la aplicación específica depende de la cantidad de energía contenida en dicho residuo. Por ejemplo, la combustión de pellets combustibles (obtenidos con la tecnología de densificación) permite generar energía térmica para aplicaciones de secado de granos, o bien energía eléctrica cuando éstos son utilizados como reemplazo del carbón vegetal.

Por otra parte, la pirólisis es un proceso mediante el cual un material se convierte, a altas temperaturas y en presencia de una reducida cantidad de oxígeno, en tres productos: *bio-oil*, *bio-char* y gases. El *bio-oil* es una mezcla de ácidos, alcoholes, aldehídos, ésteres, cetonas y aromáticos; usualmente tiene un poder calorífico bajo, por lo que es empleado como materia prima para generar combustibles. Por otra parte, el *bio-char*, también conocido como carbón vegetal, puede utilizarse para generar otros combustibles, o bien para reducir la acidez de los suelos. Por último, los gases consisten principalmente de monóxido de carbono, hidrógeno, metano y dióxido de carbono. De estos gases pueden separarse el hidrógeno y el metano, los cuales se pueden usar como combustibles para la generación de energía eléctrica o calorífica. Prácticamente todos los residuos de cultivos agroindustriales, así como forestales, pueden procesarse para generar estos productos mediante pirólisis.

En tanto, la gasificación es un proceso en el cual los materiales se calientan a elevadas temperaturas en ausencia de oxígeno. Como resultado, todos los materiales sólidos pasan a la fase gaseosa y generan un producto que se conoce como gas de síntesis, formado por monóxido de carbono e hidrógeno, el cual puede utilizarse para producir otros combustibles, o bien puede quemarse para la generación de energía eléctrica o calorífica. De igual manera, la tecnolo-

gía de gasificación permite procesar prácticamente todos los residuos de cultivos agroindustriales, así como forestales, para generar gas de síntesis.

Tecnologías biológicas

Por otra parte, los residuos pueden utilizarse como alimento para el crecimiento de microorganismos y organismos. En el caso de los microorganismos, derivado de su digestión, se generan productos valiosos, mientras que los organismos son sacrificados para extraer los compuestos que son utilizados para fabricar productos de diversa índole. Por ejemplo, los residuos agroindustriales pueden ser convertidos en alcoholes mediante la tecnología de fermentación; dichos alcoholes incluyen bioetanol y biobutanol. Los alcoholes generados pueden utilizarse como aditivos para gasolina, o bien como materias primas para la generación de plásticos y otros productos químicos.

Ahora bien, los residuos orgánicos, como aquellos provenientes de restaurantes, cafeterías o industrias procesadoras de alimentos, pueden usarse como materia prima para el crecimiento de organismos como la mosca soldado negra. Este insecto se alimenta, crece, se reproduce y genera larvas; estas últimas son sacrificadas para extraer su aceite, el cual puede usarse para producir combustibles. El resto de la biomasa se puede emplear para producir harinas para la alimentación de peces.

■ **Caso de aplicación: análisis preliminar para la revalorización de residuos en CNH**

■ CNH de México es una empresa dedicada a la producción de maquinaria agrícola. Como resultado de su proceso de producción se generan diferentes tipos de residuos; uno de ellos se constituye por la madera proveniente del empaqueo de la maquinaria agrícola, así como motores y transmisiones. Estos residuos de madera ya no son de utilidad en el proceso de empaqueo; no obstante, tienen un alto potencial para ser reutilizados. En la Figura 1 se presentan los residuos de madera que se generan en dicho proceso productivo.

Con el objetivo de analizar de manera preliminar el potencial de uso de estos residuos, se buscó infor-

mación relacionada con su composición química. De acuerdo con lo reportado en la literatura, este tipo de madera contiene altas cantidades de lignina, cerca de 30% (Bernabé-Santiago y cols., 2013). Debido a lo anterior, es un material idóneo para la producción de pellets combustibles. Cuando este tipo de biomasa se densifica, se incrementa tanto su presión como su temperatura. Como resultado de esto último, la lignina se funde y actúa como un agente aglomerante; esto le da robustez y dureza al pellet combustible.

La producción de los pellets incluye las etapas de triturado, acondicionamiento y densificación (o pelletizado). En la producción de los pellets, el tamaño de la partícula es importante, ya que si es muy grande o muy pequeño el pellet no tiene mucha resistencia mecánica. Asimismo, el grado de humedad también es relevante, ya que si se encuentra muy seco se incendia al compactarse, y si está muy húmedo no se compacta de manera adecuada. Otra variable por considerar es la presión de compactación, la cual usualmente no puede ser modificada en las pelletizadoras comerciales. Con base en los reportes de la literatura, los pellets de madera poseen un poder



Figura 1. Residuos de madera del proceso productivo.

calorífico en el orden de los 18 MJ/kg, lo cual se encuentra por debajo del poder calorífico del carbón mineral (21 MJ/kg) y el carbón vegetal (29 MJ/kg); no obstante, el poder calorífico resultante es bastante competitivo para generar energía térmica.

Con base en esta información se estima que por cada 1 000 kg de residuos de madera se podrían generar 800 kg de pellets combustibles, considerando una eficiencia de conversión de 80%, que es bastante conservadora. El uso de estos pellets permitiría dejar de adquirir 685 kg por año de carbón mineral, 497 kg por año de carbón vegetal, o bien 335 kg por año de diésel de origen fósil. En este último caso, calculando que el precio por litro de diésel es de \$21.42 (CRE, 2019), esto representaría un ahorro anual de \$7,175.7 pesos.

Es claro que el uso de los residuos de madera contribuirá de manera significativa a resolver el problema de la generación de residuos en la empresa CNH, además de que le permitirá generar energía a partir de sus propios residuos, con lo cual disminuirían los costos asociados a la compra de combustibles fósiles. Considerando estos resultados, debe hacerse un análisis detallado con el objetivo de evaluar las condiciones óptimas para realizar el peletizado de dichos residuos, así como una evaluación de los pellets combustibles resultantes en comparación con los valores establecidos por la norma. De igual manera, se debe cuantificar la energía necesaria en el proceso de obtención de los pellets, con el fin de evaluar cuánta energía es posible obtener de los pellets combustibles, en comparación con la energía necesaria para producirlos.

■ Conclusiones

■ La revalorización de residuos es una estrategia promisoriosa para reducir los costos de operación de las empresas, diversificar su portafolio de productos y, al mismo tiempo, aprovechar de manera integral sus insumos. Es importante realizar los análisis preliminares con base en la literatura científica reportada, ya que esto posibilitará proponer alternativas para el aprovechamiento integral de los residuos. Si el análisis preliminar es favorable, debe llevarse a cabo la

caracterización de los residuos, así como la selección de productos y tecnologías de procesamiento.

Los autores agradecen el apoyo financiero proporcionado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), mediante el proyecto 299418, para la realización de este trabajo.

Zulema Juárez Orozco

CNH de México.

zulema.juarez@cnhmexico.com.mx

Juan Fernando García Trejo

Universidad Autónoma de Querétaro.

juanfernando77@gmail.com

Claudia Gutiérrez-Antonio

Universidad Autónoma de Querétaro.

claudia.gutierrez@uaq.mx

Referencias específicas

- Bernabé-Santiago, R., L. E. A. Ávila-Calderón y J. G. Rutiaga-Quñones (2013), “Componentes químicos de la madera de cinco especies de pino del municipio de Morelia, Michoacán”, *Madera Bosques*, 19(2): 21-35.
- CRE (2019), *Precios de gasolinas y diésel reportados por los permisionarios*, México, Comisión Reguladora de Energía. Disponible en: <<http://www.cre.gob.mx/ConsultaPrecios/GasolinasyDiesel/GasolinasyDiesel.html>>, consultado el 1 de marzo de 2021.
- ISO (2019), “ISO 17225-6:2014. Solid biofuels -- Fuel specifications and classes – Part 6: Graded non-woody pellets”, *International Organization for Standardization*. Disponible en: <<https://www.iso.org/standard/59461.html>>, consultado el 1 de marzo de 2021.
- Martínez-Guido, S. I., I. M. Ríos-Badrán, C. Gutiérrez-Antonio y J. M. Ponce-Ortega (2019), “Strategic planning for the use of waste biomass pellets in Mexican power plants”, *Renewable Energy*, 130: 622-632.
- RAE (2019), “Residuos”, *Diccionario de la lengua española*, en línea.

Rosamond Coates, Armando Aguirre Jaimes y Sara Canchola Orozco

La selva de Los Tuxtlas: biodiversidad y artesanías

El aprovechamiento de productos forestales no maderables para elaborar objetos artísticos y utilitarios se ha considerado una alternativa viable para el manejo sustentable de las selvas tropicales húmedas. Aquí describimos el uso de la fauna y la flora en la región de Los Tuxtlas para la producción de artesanías y como una manera de favorecer la conservación del capital cultural y natural.

México se distingue en el mundo por su gran riqueza biológica y cultural, al estar catalogado como uno de los 12 países que albergan la mayor biodiversidad, y uno de los cinco con mayor diversidad lingüística (se estima que existen 364 variantes en 11 familias lingüísticas). Esta riqueza biológica y cultural da lugar a la vasta diversidad biocultural del país (Boege, 2008; Sarukhán y cols., 2009), la cual es un reflejo de las maneras en que las sociedades humanas conviven con la naturaleza (Caro Bueno y cols., 2009).

Los procesos de elaboración de artesanías son un ejemplo de la riqueza biocultural nacional, debido a que son el resultado del aprovechamiento de los recursos naturales para producir objetos de una belleza indiscutible, en ambientes culturales específicos. Por lo tanto, la elaboración de artesanías puede ser una forma de favorecer la conservación del capital cultural y natural de un país (Sarukhán y cols., 2009).

Los Tuxtlas: diversidad biológica y cultural a lo largo del tiempo

La Sierra de Los Tuxtlas se ubica en la planicie costera del Golfo de México al sur del estado de Veracruz y tiene una superficie de 3 300 km², la cual alberga más de 3 300 especies vegetales y 1 702 especies de animales (Guevara y cols., 2006). Esta diversidad se debe en gran medida a su localización geográfica, donde confluye la vegetación de las zonas templadas con la de las zonas tropicales. Por ello, la región cuenta con un enorme potencial para el aprovechamiento de recursos naturales que, desde hace tiempo, las culturas mesoamericanas y las sociedades urbanas-rurales actuales han usado como la base para el desarrollo de sus actividades productivas. De acuerdo con los registros arqueológicos, los primeros pobladores



de la región datan de hace más de 5 000 años, pertenecientes a grupos olmecas que provenían de las tierras bajas. A partir de ese momento los asentamientos humanos han sido constantes y hoy constituyen una mezcla de poblaciones urbanas y rurales (Guevara, 2011).

Entre los recursos naturales que se han explotado en Los Tuxtlas destacan la colecta de frutos y la extracción de productos medicinales y, principalmente, de maderas (Guevara, 2011). De acuerdo con un estudio realizado por el investigador Guillermo Ibarra y cols. (1997), tan sólo en las 640 ha de la Estación de Biología Tropical “Los Tuxtlas” se identificaron 163 especies de plantas con interés comercial (excluidas las plantas medicinales); del total, 35% se usa como maderas, 32% sirve como combustibles, 24% corresponde a plantas ornamentales –en especial palmas y orquídeas–, 23% representa consumibles y 6% es para fines artísticos. En este último caso destacan las fibras para cestería, textiles y semillas para la elaboración de collares y aretes.

A partir de la década de 1960 se dio un cambio en la forma de vida de los pobladores de la región, dedicados casi exclusivamente a las actividades agropecuarias, sobre todo a la ganadería, por lo que se deforestaron extensas áreas de selva, de tal manera que para el año 2000 se había perdido casi 90% de la cobertura original de selva. De este modo, el paisaje que hasta hace pocas décadas estaba dominado por una exuberante selva, hoy día está caracterizado por un mosaico conformado de potreros, campos de cultivo (cítricos, tabaco y cacao, entre otros), así como remanentes de selva (Guevara y cols., 2006).

La deforestación de la selva ha provocado la extinción local de la flora y la fauna. Por ejemplo, se ha documentado que al menos tres especies de aves han desaparecido localmente: el zopilote rey (*Sarcorampus papa*), el águila arpía (*Harpia harpyja*) y la guacamaya roja (*Ara macao*), así como otras 85 especies más que se encuentran en las categorías de peligro de extinción o amenazadas. Asimismo, 10 especies de mamíferos han sido catalogadas en peligro de extinción en la zona, entre las cuales se encuentran el mono araña (*Ateles geoffroyi*), el jaguar (*Panthera onca*), el puma (*Panthera concolor*), el venado de cola



blanca (*Odocoileus virginianus*) y el oso hormiguero (*Tamandua mexicana*), entre otros.

Las evidencias del deterioro ecológico de esta importante región, así como la pérdida de sus servicios ambientales, han impulsado importantes esfuerzos de conservación, entre los que destaca el decreto de Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco), en noviembre de 1998, con lo cual se ha protegido parcialmente el capital natural remanente de la región. Actualmente diferentes agencias gubernamentales, como la Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), además de algunas organizaciones no gubernamentales (ONG), desarrollan estrategias sustentables que proporcionan alternativas económicas adicionales para los pobladores locales, mediante proyectos encaminados a la conservación de los recursos naturales. Algunas de estas estrategias son el ecoturismo y, en menor medida, el uso de la fauna y la flora de la región para la elaboración y venta de artesanías. Aunque el desarrollo

de dichas actividades económicas es muy incipiente y por lo general ha operado a pequeña escala, representa una oportunidad para los pobladores de generar empleos locales y acciones dirigidas al desarrollo sustentable en la región.

Las artesanías en Los Tuxtlas: en busca del desarrollo sustentable

De acuerdo con un estudio realizado por Rosamond Coates y cols. (2015), en las comunidades Sihuanpan, Comoapan, La Victoria, Las Margaritas, Benito Juárez, Tebanca, Ojoxapan, Coxcoapan, López Mateos, Costa de Oro, Los Órganos y Salinas Roca Partida, ubicadas dentro de la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas, se identificaron en total 142 especies de plantas. Respecto a la fauna, la autora tiene registros de 20 especies de animales utilizados como materia prima para la elaboración de artesanías, entre los que sobresalen los moluscos, lo cual es de esperarse debido a la cercanía con la costa y a la presencia de cerca de 300 lagos formados en cráteres volcánicos en la región, de los cuales el más grande es el lago de Catemaco. Aquí destacan las conchas de los llamados tegogolos (*Pomacea patula catemacensis*), una especie de molusco que sólo habita en

este lago, las cuales se aprovechan para la elaboración de aretes, collares y cortinas. También sobresale el uso de cuernos de ganado vacuno, huesos o vertebras de mamíferos, plumas de algunas aves, así como las escamas de algunos peces (véase la Figura 1). Es importante mencionar que la fauna silvestre no es sacrificada con estos fines, pues dichos materiales sólo se utilizan si los artesanos encuentran a los animales muertos.

A diferencia de la fauna, la flora utilizada es mucho más diversa, e incluye 142 especies de plantas, de las cuales las más representativas son las leguminosas, con un total de 34 especies. Entre estas últimas destacan el guanacaste o parota (*Enterolobium cyclocarpum*), el tamarindo (*Tamarindus indica*), el corazón de mono (*Entada gigas*) y el famoso ojo de venado (*Mucuna sloanei*), cuyas semillas son utilizadas para la elaboración de pulseras y collares. Otra familia de plantas muy utilizada es la de las palmeras (Arecaceae). Cabe mencionar que los pobladores utilizan tanto especies nativas como especies que no son propias de la región, también llamadas exóticas (véase la Tabla 1). Sin embargo, las más utilizadas para las artesanías son nativas y cuatro de ellas se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-

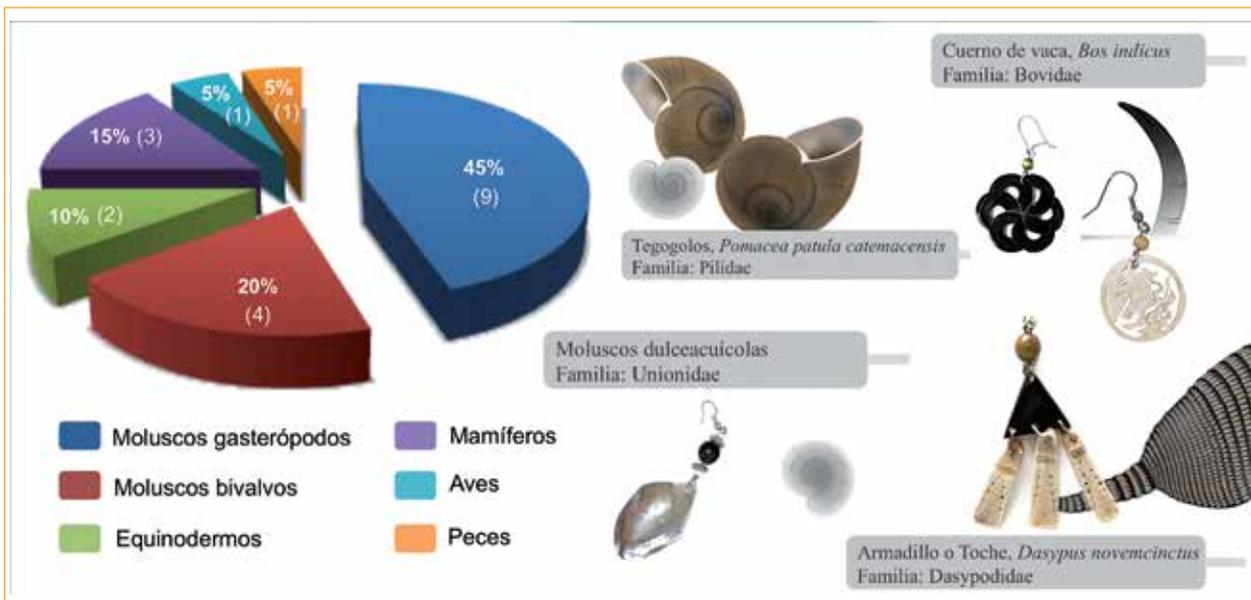


Figura 1. Partes de animales utilizados como materia prima para artesanías en Los Tuxtlas. Diseño: Natalia Anaya; fotografías: Álvaro Campos V., Natalia Anaya y Armando Aguirre Jaimes.

Tabla 1. Nombres científicos y comunes de algunas plantas utilizadas para la elaboración de artesanías en la región de Los Tuxtlas, Veracruz.

| Familia | Nombre científico | Nombre común | Parte de la planta utilizada |
|----------------|-----------------------------------|--|------------------------------|
| Acanthaceae | <i>Justicia</i> sp. | Anelín | Hojas |
| Araceae | <i>Forsteronia viridescens</i> | Bejuco de tuza | Tallos |
| | <i>Monstera acuminata</i> | Bejuco verde | Tallos |
| Arecaceae | <i>Chamaedorea alternans</i> | Tepejilote | Semillas |
| | <i>Chamaedorea hooperiana</i> | Palma mayan | Semillas |
| | <i>Attalea butyracea</i> | Coyol | Semillas |
| | <i>Attalea liebmannii</i> | Corozo | Semillas |
| | <i>Bactris mexicana</i> | Jahuacte | Semillas |
| | <i>Cocos nucifera</i> | Coco | Semillas, cáscaras |
| | <i>Desmoncus orthacanthos</i> | Bayi | Semillas, tallos |
| | <i>Chrysalidocarpus lutescens</i> | Palma areca | Semillas |
| | <i>Phoenix dactylifera</i> | Palmera datilera | Semillas |
| | <i>Roystonea regia</i> | Palma real | Semillas |
| | <i>Veitchia merrillii</i> | Palma de Navidad | Semillas |
| | <i>Washingtonia robusta</i> | Palmera de abanico | Semillas |
| Bignoniaceae | <i>Macfadyena unguis-cati</i> | Bejuco Sinaca | Tallos |
| | <i>Crescentia alata</i> | Cuatecomate | Frutos |
| Bromeliaceae | <i>Tillandsia</i> sp. | Bromelia | Flores |
| Combretaceae | <i>Combretum</i> sp. | Bejuco de flama | Tallos |
| Fabaceae | <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | Guanacaste o parota | Semillas |
| | <i>Tamarindus indica</i> | Tamarindo | Semillas |
| | <i>Entada gigas</i> | Corazón de mono | Semillas |
| | <i>Mucuna sloanei</i> | Ojo de venado | Semillas |
| | <i>Vatairea lundelli</i> | Picho | Semillas |
| | <i>Erythrina folkersii</i> | Colorín | Semillas |
| Meliaceae | <i>Cedrela odorata</i> | Cedro rojo | Flores |
| Musaceae | <i>Musa</i> sp. | Plátano macho | Frutos |
| Poaceae | <i>Zea maiz</i> | Maíz | Hojas |
| | <i>Bambusa vulgaris</i> | Bambú verde | Tallos |
| Pontederiaceae | <i>Pontederia saggittata</i> | Lirio acuático | Tallos |
| Sapindaceae | <i>Serjania</i> sp. | Bejuco de tres lomos o de tres costillas | Tallos |
| Zamiaceae | <i>Ceratozamia</i> sp. | Zamia | Raíces |

SEMARNAT-2010): el picho (*Vatairea lundelli*), la zamia (*Ceratozamia* sp.), el tepejilote (*Chamaedorea alternans*) y la palma mayan (*Chamaedorea hooperiana*). No obstante, los pobladores de la región no hacen un uso intensivo ni destructivo de estas especies, ya que sólo utilizan sus semillas o partes vegetativas.

En Los Tuxtlas se han registrado 42 tipos de ar-

tesanías, producto de la imaginación y el talento de las manos artesanas que utilizan diferentes partes de las plantas locales (véase la Figura 2). De las artesanías registradas, 60% se elabora a partir de semillas. Por ejemplo, las semillas del colorín (*Erythrina folkersii*) se emplean en aretes, collares y pulseras (véase la Figura 3). Asimismo, los tallos del bejuco de flama (*Com-*

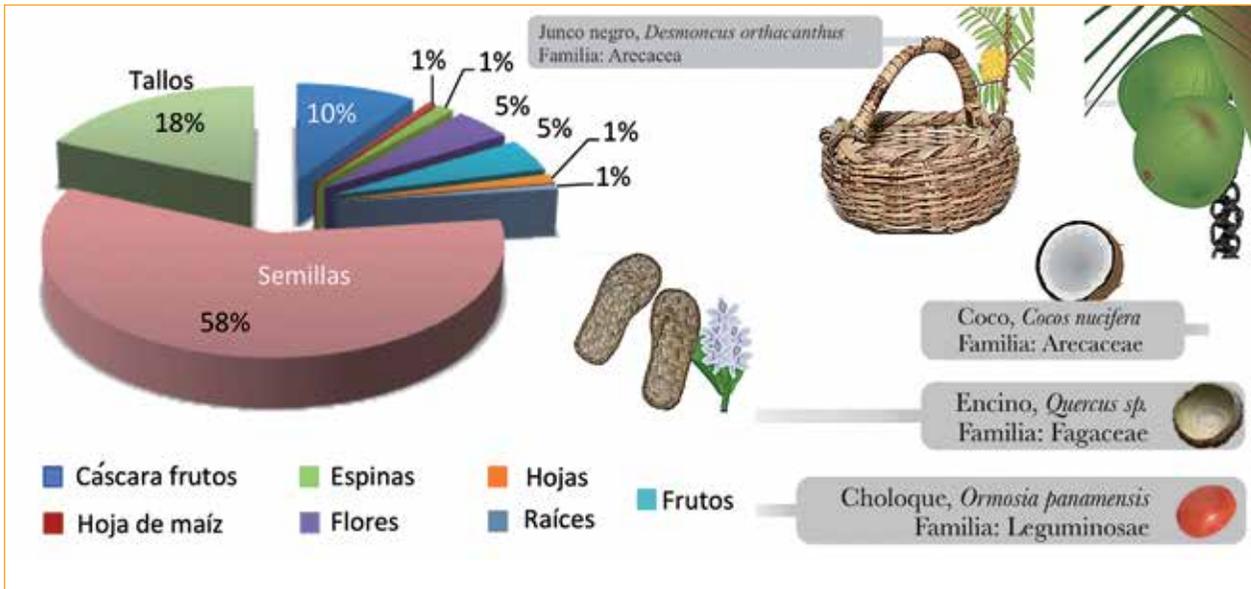


Figura 2. Partes de las plantas utilizadas en la elaboración de artesanías en la región de Los Tuxtlas. Diseño: Natalia Anaya; fotografías: Álvaro Campos V., Natalia Anaya y Armando Aguirre Jaimes.



Figura 3. Semillas de plantas nativas y no nativas utilizadas por los artesanos para la elaboración de collares y pulseras. Diseño: Natalia Anaya; fotografías: Álvaro Campos V., Natalia Anaya y Armando Aguirre Jaimes.

bretum sp.), del bejuco de tuza (*Forsteronia viridesens*), del bejuco Sinaca (*Macfadyena unguis-cati*), del bejuco verde (*Monstera acuminata*) y del bejuco de los tres

lomos o tres costillas (*Serjania* sp.) se usan para la elaboración de canastos. Este proceso de producción es largo e incluye la extracción de las fibras, el secado, el

corte y el ablandamiento, con el fin de que el material quede listo para poder elaborar los canastos.

Por otra parte, con las cáscaras de algunos frutos se elaboran figuras, monederos, aretes, jarrones y veladoras. Uno de los procesos más interesantes consiste en el uso de la cáscara del plátano macho (*Musa* sp.) para teñir telas. Además, las flores y los frutos de varias especies se utilizan para hacer figuras, collares y tinciones; mientras que algunas son utilizadas como ornato debido a su gran belleza. Este último es el caso de la bromelia (*Tillandsia* sp.) y del cedro rojo (*Cedrela odorata*). En tanto, las hojas y las raíces se utilizan en menor proporción; por ejemplo, con las hojas del maíz (*Zea mays*) y las del anelín (*Justicia* sp.) se elaboran figuras en forma de muñecos y se realizan tinciones, respectivamente.

Un hallazgo relevante es que en muchos casos una especie es utilizada para distintos tipos de artesanías, e incluso con la misma especie se llegan a realizar más de 11 productos diferentes. Por ejemplo, a partir del lirio acuático (*Pontederia sagittata*) se obtienen plantas de ornato por sus llamativas flores

moradas, y con los tallos se realizan diversos artículos, como bolsos, tapetes, huaraches, sombreros, alhajeros, tortilleros, diademas y carpetas. Al utilizar el lirio, los artesanos también contribuyen al control poblacional de esta especie, catalogada como una especie exótica invasiva. Otro ejemplo de los múltiples usos posibles es el bambú verde (*Bambusa vulgaris*), especie introducida de Asia, cuyos tallos son de gran valor para la fabricación de vasos, veladoras, collares, aretes, prendedores, móviles, accesorios, alhajeros y muebles diversos.

Por otra parte, el cuatecomate (*Crescentia alata*) es un árbol originario de México que se ha destacado por su diversidad de usos tradicionales en el país, de acuerdo con la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (Conabio). Esta especie ocupa el sexto lugar por su diversidad e intensidad de usos, entre los cuales se incluyen: comestible, medicinal, maderable, doméstico, entre otros. En el ámbito de las artesanías, la principal materia prima de esta planta son sus frutos esféricos de hasta 15 cm de diámetro que crecen pegados a los



tallos, y que en Los Tuxtlas son aprovechados para elaborar azucareras, monederos, bolsas para dama, vasos, jarrones, veladoras, floreros y figuras.

En síntesis, si bien la artesanía tuxteca es muy incipiente y la ganancia económica es poca, en comparación con otras fuentes de ingreso, representa una forma viable para el desarrollo sustentable de la región, debido a que es un complemento económico para los pobladores y ofrece un incentivo para la promoción de estrategias de restauración por medio del cultivo mixto de especies útiles; por ejemplo, se pueden emplear el colorín (*Erythrina folkersii*) y el guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), así como otras especies nativas que proveen materiales para la elaboración de artesanías y al mismo tiempo favorecen la conservación de la selva.

Aún quedan grandes retos por enfrentar; sin embargo, se está empezando a trabajar en talleres de capacitación por parte de otros artesanos, así como en estrategias de promoción, mercadotecnia y comercialización de estos productos. A largo plazo, estas acciones garantizarán la conservación del patrimonio natural y cultural de la región, que en última instancia repercutirán de manera positiva en la calidad de vida de la población.

Los autores agradecen a la Estación de Biología Tropical “Los Tuxtlas” de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Rosamond Coates

Estación de Biología Tropical “Los Tuxtlas”, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

rcoates@ib.unam.mx

Armando Aguirre Jaimes

Instituto de Ecología, A. C., Red de Interacciones Multitróficas

armando.aguirre@inecol.mx

Sara Canchola Orozco

Centro Universitario de Ciencias Biológicas, Universidad de Guadalajara.

saragabcan@gmail.com

Referencias específicas

- Boege, E. (2008), *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas*, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia/Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- Caro Bueno, E., M. Cruz Murueta, N. Navarrete Zamora y C. López Binnqüist (2009), “Artesanías, medio ambiente y salud ocupacional”, en: M. Cruz Murueta, C. López Binnqüist y N. González (eds.), *Artesanías y medio ambiente*, México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Coates, R., A. Aguirre y A. Campos-Villanueva (2015), “Plant use by artisans within the Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Southern Mexico”, *Human Ecology*, 43:621-631.
- Guevara, S. S. (2011), *Los Tuxtlas, Tierra Mítica*, col. Veracruz Siglo XXI, Xalapa, Gobierno del Estado de Veracruz/Secretaría de Educación del Estado de Veracruz/Universidad Veracruzana.
- Guevara, S., J. Laborde y G. Sánchez-Ríos (2006), *Los Tuxtlas. El paisaje de la sierra*, Xalapa, Instituto de Ecología, A. C./Unión Europea.
- Ibarra-Manríquez, G., M. Ricker, G. Ángeles, S. Sinaca-Colín y M. A. Sinaca-Colín (1997), “Useful plants of the Los Tuxtlas rainforest (Veracruz, Mexico): Considerations of their market potential”, *Economic Botany*, 51(4):362-376.
- Sarukhán, J. et al. (2009), *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*, México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.



De actualidad
Desde las redes
In memoriam

Héctor Mayani y Patricia Piña Sánchez



COVID-19: fortalezas y debilidades

La enfermedad COVID-19 ha impactado al mundo entero. Esta pandemia ha exhibido nuestras fortalezas y debilidades. Dos fortalezas indiscutibles han sido la ciencia y la solidaridad. Gracias a ellas, la humanidad ha podido reaccionar y está logrando salir adelante. Las experiencias vividas en el último siglo nos indican que debemos continuar preparándonos para epidemias futuras.

Desde principios de marzo de 2020 y durante el año que ha transcurrido, las noticias que escuchamos en la radio, que leemos en los periódicos, que vemos en la televisión y que conocemos por medio de internet han estado monopolizadas. Un solo personaje ha acaparado los reflectores y se ha adueñado de la atención del mundo entero: COVID-19, una enfermedad del tracto respiratorio que provoca fiebre, tos, fatiga y dificultad para respirar, entre otros síntomas. En principio, puede parecerse a un cuadro severo del resfriado común, pero para una proporción de personas –sobre todo aquellas que tienen otros padecimientos, como hipertensión arterial, diabetes, obesidad, enfermedades autoinmunes, insuficiencia renal o trastornos cardiovasculares– puede convertirse en una seria amenaza, con la presentación de síntomas graves que ameritan hospitalización y que incluso pueden provocar la muerte. Hoy, un año después de que COVID-19 fuera declarada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como pandemia, alrededor de 200 países se han visto afectados, cerca de 115 millones de personas han sido infectadas y más de 2.5 millones de ellas han fallecido.

Sin duda, esta nueva enfermedad constituye una tragedia mundial, pues ha impactado de forma negativa en prácticamente todos los ámbitos del quehacer humano: la política, la economía, la educación, el trabajo, la cultura, el entretenimiento y, por supuesto, la salud. COVID-19 nos ha llevado muy abajo, no podemos decir si hasta “tocar fondo”, pero, si no lo ha hecho, nos ha arrastrado muy cerca. Por lo tanto, una vez que logremos salir de este largo y difícil periodo, el mundo tendrá que redefinir sus prioridades, determinar las acciones inmediatas para recuperar “el tiempo perdido”, así como establecer las tareas necesarias para salir adelante de una crisis que va más allá de la salud pública y que se ha convertido en un problema social, económico y político. Lo que está ocurriendo nos debe

impulsar a la reflexión, al análisis, a la autocrítica. Nos debe invitar a repensar el camino que hemos andado, lo que hemos logrado. Asimismo, nos debe ayudar a decidir hacia dónde queremos ir, la ruta que queremos seguir y cómo la queremos recorrer. ¿Queremos regresar a “la normalidad”, una nueva normalidad, como ha sido llamada, o queremos crear una nueva realidad, mejor que la anterior, más manejable y duradera, más incluyente, más integral, más sólida, más justa y más digna?

Ahora bien, más allá del deterioro causado, la crisis provocada por COVID-19 ha expuesto lo bueno y lo malo de la humanidad; ha exhibido nuestras fortalezas y nuestras debilidades. En este sentido, dos áreas se han manifestado como fortalezas indiscutibles: la ciencia y la solidaridad.

Una fortaleza: la ciencia

Gracias a la ciencia hemos podido enfrentar esta pandemia. De hecho, nunca antes, en toda la historia de nuestra especie, habíamos tenido tantas ni mejores herramientas para afrontar y reaccionar ante una catástrofe de salud pública como la actual. Tan sólo cuatro semanas después de que el primer paciente infectado en el mundo fue hospitalizado, científicos de China reportaron la identidad genómica, molecular y estructural del agente causal, el virus que ahora conocemos como SARS-CoV-2, un virus de ARN perteneciente a la familia de los coronavirus. Inmediatamente se desarrolló una prueba molecular, basada en la técnica de PCR, para diagnosticar a las personas infectadas.

Asimismo, especialistas en epidemiología desde distintos países emprendieron acciones y plantearon estrategias basadas en las lecciones aprendidas durante epidemias anteriores, como la de SARS (síndrome respiratorio agudo severo), ocurrida en 2002, la de influenza A H1N1, de 2009, y la de MERS (síndrome respiratorio de Medio Oriente), en 2012. Profesionales de la salud de todo el mundo prontamente se dieron a la tarea de atender y tratar a los pacientes contagiados, incluso poniendo en riesgo su propia vida. De hecho, no podemos pasar por alto el que, desafortunadamente, durante este año de pandemia,

varios miles de profesionales de la salud han padecido la enfermedad y una proporción significativa de ellos ha perdido la vida.

Por otra parte, esquemas terapéuticos, algunos bien establecidos, otros en fase experimental, pero todos ellos basados en evidencias científicas, han sido aplicados, de tal suerte que son más las personas que se han recuperado que las que han muerto (a la fecha, más de 90 millones de personas infectadas se han recuperado; es decir, alrededor de 36 veces más que el número de personas que han fallecido). Desde el principio de la pandemia, especialistas en salud pública han estado lanzando campañas de información y concientización hacia los gobiernos y la población en general. Sumado a todo lo anterior, científicos de todo el mundo han trabajado arduamente en el desarrollo de vacunas contra SARS-CoV-2, de tal suerte que, hoy día, existen 12 vacunas aprobadas para su uso y 90 vacunas en distintas fases de estudio y desarrollo.

En estos tiempos de angustia y desesperación, la ciencia ha tomado el liderazgo de parte de la humanidad en la batalla contra el SARS-CoV-2. Gobernantes, empresarios, políticos, líderes religiosos y la sociedad en general han cedido el paso a los científicos, los han escuchado y, en la gran mayoría de los casos, han seguido sus indicaciones. El eslogan “Quédate en casa” no surgió como una consigna gubernamental, no es una ocurrencia de mercadotecnia, un berrinche empresarial o una táctica política; se trata de una forma muy simple (aunque con costos sociales, económicos y educativos significativos) de resumir, en tan sólo tres palabras, una estrategia de salud pública, con base en la experiencia biomédica y epidemiológica, para frenar la propagación del virus que ya tanto daño nos ha causado.



Otra fortaleza: la solidaridad

 La segunda gran fortaleza que se ha hecho evidente en estos tiempos es la solidaridad. Gente ayudando a gente: médicos y enfermeras atendiendo a enfermos; la policía y el personal militar resguardando el orden y la seguridad; el personal de transporte y de limpieza sirviendo a la ciudadanía; comerciantes y empleados trabajando para que podamos adquirir productos de primera necesidad; vecinos apoyándose mutuamente, acompañándose desde sus ventanas y balcones, compartiendo música y canciones; personas con recursos apoyando a quienes no los tienen; los jóvenes cuidando de los viejos.

Las debilidades

 Sin embargo, COVID-19 también ha expuesto lo malo y ha evidenciado nuestras debilidades, nuestros vicios. Algunos gobiernos, eludiendo su propia responsabilidad, han culpado a otros por lo ocurrido; hay políticos y empresarios que, defendiendo intereses partidistas y económicos, llamaron a la desobediencia civil respecto a las recomendaciones oficiales respaldadas por especialistas científicos; otros gobernantes soslayaron y menospreciaron, a costa de su propia salud, los contagios iniciales y las indicaciones de los expertos. También han sido claras las deficiencias en los sistemas hospitalarios y de salud pública de algunos países, acompañadas de pobreza e ignorancia, lo cual ha provocado muertes que, en muchos casos, pudieron haberse evitado. Hemos visto gente muriendo en su casa o en plena calle, sin ningún tipo de ayuda médica; personas insensatas agrediendo a los profesionales de la salud por considerarlos un peligro público o para desahogar sus miedos y frustraciones; algunos comunicadores y periodistas transmitiendo noticias falsas, difamando, mintiendo; dueños de negocios negándose a cerrar de manera temporal sus instalaciones, a pesar de que han sido exhortados a ello como parte del plan de contingencia nacional. Hoy vemos inequidad en el acceso a las vacunas, tanto para algunos países como para sectores sociales específicos, y hemos sabido de personas influyentes que han sido vacunadas cuando no les correspondía.

Lo aprendido

 Ante situaciones como la que hemos vivido en el mundo, debemos reflexionar y aprender. Aprender que la ciencia es fundamental y que hay que apoyarla. Aprender que debemos seguir siendo solidarios, pues tanto los individuos como los países debemos actuar como bloque, unidos, y no como entes independientes y desarticulados. Aprender que la honestidad y la transparencia son buenos aliados, y que la desinformación, la mentira y el egoísmo provocan confusión y división.

Sabemos que COVID-19 no es la primera pandemia que enfrenta la humanidad. A lo largo de la historia, hemos padecido decenas de ellas y cientos de millones de personas han muerto por esa razón. Por nombrar sólo algunos ejemplos, recordemos que en el siglo VI de nuestra era, la “plaga de Justiniano” provocó la muerte de más de 30 millones de personas; en el siglo XIV, la peste bubónica causó estragos en Europa, donde fallecieron más de 200 millones de seres humanos; en el siglo XVI, la viruela mató a más de 50 millones de individuos; a finales del siglo XIX, la fiebre amarilla causó la muerte de más de 100 000 personas; entre 1918 y 1919, la mal llamada “gripe española” resultó en cerca de 50 millones de fallecidos; en las décadas de 1980 y 1990, el sida acabó con la vida de varios millones de individuos. Hoy podemos asegurar que COVID-19 no será la última pandemia.

En 2009, como respuesta a la crisis de gripe aviaria H5N1 de 2005, la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional (USAID) dio inicio al proyecto piloto PREDICT, el cual fue originalmente planeado para 10 años, con una inversión de 170 millones de dólares. Dicho proyecto fue concebido como parte del programa de Amenazas Pandémicas Emergentes (EPT, por sus siglas en inglés) a escala global y tuvo como objetivo evaluar la posibilidad de mitigar las amenazas de pandemias, a partir del descubrimiento de nuevos virus en reservorios de vida silvestre, así como caracterizar los factores ecológicos, sociales y económicos que promueven su capacidad de propagación. Expertos trabajaron en más de 30 países de África, Asia y América Latina impulsando el desarrollo de capacidades para identificar nuevas

enfermedades zoonóticas (las cuales se transmiten de otras especies animales a los seres humanos) en más de 60 laboratorios y mediante la capacitación de más de 6 800 personas.

Uno de los resultados más significativos del programa fue la identificación de un número mayor de 900 especies nuevas de virus, lo cual hizo evidente, una vez más, que el reino de los virus es un mundo del que, todavía, nos falta mucho por explorar y conocer. En particular, entre 2009 y 2019, el proyecto PREDICT identificó 179 especies de coronavirus en mamíferos. La fase piloto del proyecto terminó en 2019 y en octubre de ese año se hizo la petición de su extensión por 10 años más. Desafortunadamente, la respuesta inicial del gobierno del entonces presidente Trump fue negativa. Sin embargo, ante la pandemia de COVID-19, en marzo de 2020 los fondos se reactivaron de forma parcial.

Por otro lado, en 2018 se creó el Proyecto Viroma Global (GVP, por sus siglas en inglés), con el objetivo de identificar y caracterizar las amenazas virales desconocidas en nuestro planeta, así como para dar respuestas y generar intervenciones oportunas de salud pública ante brotes pandémicos futuros. Los expertos estiman que existe más de un millón y medio de tipos de virus aún por descubrir, cuyos hospederos principales son mamíferos y aves. De éstos, se estima que alrededor de 700 000 tienen la capacidad para infectar a humanos. Según cálculos económicos desarrollados por los científicos del GVP, llegar a identificar y caracterizar a todas las especies virales que representan una amenaza potencial para la humanidad tendría un costo aproximado de 3 700 millones de dólares. Ciertamente, es una cantidad exorbitante; sin embargo, resulta significativamente menor que el costo global que nuestra especie tendrá que pagar por una pandemia como COVID-19, estimado en más de 16 billones de dólares (16 millones de millones de dólares), de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

A la fecha, se han publicado más de 108 000 artículos científicos y hay casi 5 000 ensayos clínicos en el mundo relacionados con COVID-19. Y así debe ser, pues las experiencias vividas durante el último

siglo nos han enseñado que debemos continuar preparándonos para las epidemias que están por venir. No sabemos exactamente cuándo ni dónde aparecerán; tampoco podemos predecir su magnitud o el impacto que tendrán. Pero llegarán. Eso es un hecho.

Héctor Mayani

Unidad de Investigación Médica en Enfermedades Oncológicas del Centro Médico Nacional Siglo XXI del Instituto Mexicano del Seguro Social.

hmayaniv@prodigy.net.mx

Patricia Piña Sánchez

Unidad de Investigación Médica en Enfermedades Oncológicas del Centro Médico Nacional Siglo XXI del Instituto Mexicano del Seguro Social.

patricia_1307@yahoo.com.mx

Lecturas recomendadas

- Alipoor, S. D., E. Mortaz, H. Jamaati, P. Tabarsi *et al.* (2021), "COVID-19: Molecular and cellular response", *Front Cell Infect Microbiol*, 11:563085.
- Carroll, D., P. Daszak, N. D. Wolfe, G. F. Gao *et al.* (2018), "The global virome project", *Science*, 359(6378):872-874.
- Choudhary, S., K. Sreenivasulu, P. Mitra, S. Misra *et al.* (2021), "Role of genetic variants and gene expression in the susceptibility and severity of COVID-19", *Ann Lab Med*, 4(2):129-138.
- Ciotti, M., S. Angeletti, M. Minieri, M. Giovannetti *et al.* (2020), "COVID-19 outbreak: an overview", *Chemotherapy*, 64:215-223.
- Helmy, Y. A., M. Fawzy, A. Elswad, A. Sobieh *et al.* (2020), "The COVID-19 pandemic: A comprehensive review of taxonomy, genetics, epidemiology, diagnosis, treatment and control", *J Clin Med*, 9(4): 1225.
- Piña-Sánchez P., A. Monroy-García, J. J. Montesinos, M. Gutiérrez de la Barrera *et al.* (2020), "Biología del SARS-CoV-2: hacia el entendimiento y tratamiento de COVID-19", *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 58: repositorio temporal COVID-19.
- Vargas Fernández, A. T., E. Ochoa Hein y A. Galindo Fraga (2020). "Coronavirus: hacia la siguiente pandemia del siglo XXI", *Ciencia*, 71(2):84-89.

José Eduardo González Reyes

Desde las redes

Perseverar en el conocimiento de nuestro planeta vecino

El 18 de febrero de 2021, *Perseverance*, el rover más grande y avanzado que haya enviado la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), se posó sobre la superficie marciana. La misión denominada “Mars 2020” fue lanzada el 30 de julio de 2020 desde Cabo Cañaveral, Florida, en Estados Unidos de América.

Entre varios de sus objetivos, *Perseverance* investigará la roca y el sedimento de su lugar de amartizaje: el cráter Jezero. Este sitio albergó a un lago hace más de 3 500 millones de años y es posible que en él puedan ser encontrados microfósiles. Estudios previos señalan que existen distintos depósitos de minerales en el cráter, denominados carbonatos, que podrían estar ligados a la presencia de vida en alguna etapa del planeta rojo.

El rover también tendrá la tarea de recolectar por primera vez muestras de otro planeta para ser enviadas y analizadas en el nuestro. El encargado de esta tarea es el *Sample Caching System*, un equipo de tres robots que perforarán el suelo marciano y pondrán las muestras en tubos sellados herméticamente.

Además de los siete instrumentos científicos primarios que le permitirán al rover realizar todas sus funciones, en la parte ventral de *Perseverance* se encuentra unido el helicóptero *Ingenuity*, que tendrá la tarea de realizar el primer vuelo controlado y motorizado en otro planeta. Se espera que este tipo de aeronaves sirvan como exploradores o realicen entregas para futuros astronautas lejos de su base.



La primera imagen capturada en la superficie marciana por *Perseverance*, luego de su amartizaje el 18 de febrero de 2021. La vista está parcialmente oscurecida por una cubierta de polvo. Crédito: NASA/JPL-Caltech.

Perseverance, que tiene el tamaño aproximado de un automóvil y pesa poco más de una tonelada, se someterá a varias semanas de pruebas antes de comenzar su investigación científica en la superficie de nuestro planeta vecino.

Más información

Página oficial de la misión Mars 2020: Disponible en: [<https://mars.nasa.gov/mars2020/>](https://mars.nasa.gov/mars2020/).

Leguminosas al rescate de los bosques tropicales

Un equipo de investigadores coordinados por la Universidad de Sheffield y el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales realizó un estudio en la región de Agua Salud, cercana al Canal de Panamá, con el fin de conocer cómo los árboles de leguminosas fijadoras de nitrógeno superan las limitaciones de crecer en suelos tropicales antiguos y pobres en nutrientes.

Las leguminosas son la familia de plantas con flores más diversa del Neotrópico. Una de sus características más representativa es que presentan estructuras en sus raíces llamadas nódulos; éstas se

encuentran pobladas de bacterias y permiten asimilar el nitrógeno atmosférico. Los investigadores descubrieron que estas plantas aceleran los procesos de descomposición mineral al acidificar localmente el suelo, lo que provoca cambios en el ciclo del carbono y el nitrógeno, así como en las comunidades microbianas que habitan en el sustrato. Estos cambios favorecen la presencia de un tipo de bacterias que descomponen el hierro, lo cual promueve la liberación de minerales que son fundamentales para el crecimiento de otros árboles que no pueden fijar el nitrógeno.

La investigación muestra que las leguminosas no sólo proporcionan nitrógeno valioso por su relación con las bacterias de sus raíces, sino que interactúan con bacterias de vida libre del suelo. Todo esto permite regular la liberación de nutrientes al medio, por lo que se beneficia toda la comunidad vegetal que está alrededor. Este tipo de investigaciones permitirá tomar mejores decisiones para la reforestación de tierras degradadas, con el fin de ayudar a cumplir los objetivos de mitigación del cambio climático.



Pentaclethra maculosa, comúnmente conocida como árbol del gavián, dormilón o capitancillo. Crédito: Gabriele Kothe-Heinrich/Wikimedia Commons.

Más información

Epilov, D. Z. *et al.* (2021), "Legume-microbiome interactions unlock mineral nutrients in regrowing tropical forests", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(11). DOI: [10.1073/pnas.2022241118](https://doi.org/10.1073/pnas.2022241118)

María Julia Hidalgo López

In memoriam, **Beatriz Barba**

Que una mujer vistiera pantalones y que optara por una carrera poco “elegante” no era la costumbre de la época. Pese a eso, Beatriz hizo a un lado los prejuicios, se puso sus pantalones y salió en busca de las piezas perdidas sin saber que, al tiempo, se convertiría en la primera mexicana titulada en arqueología, fundadora del Museo Nacional de las Culturas y cofundadora de la sala de introducción del Museo Nacional de Antropología. Siempre dijo que México es un país rico en historia; sin embargo, el haber sido colonia de España durante tres siglos fue un hecho determinante en la destrucción de las culturas indígenas existentes.

“Mientras que en otros lugares, como en Grecia, resaltaban su historia, y con orgullo se contaban los mitos y leyendas de sus héroes, aquí se prohibieron las manifestaciones culturales indígenas, sus creencias, sus lenguas, su idiosincrasia y se impuso de manera absoluta la cultura española.”

La discriminación es otra herencia que recibimos de la Conquista, dijo, cuando se procuró siempre mantener, racialmente, al grupo blanco y a los criollos como clase superior y en una clase inferior a la masa indígena esclavizada. Comentó que como pueblo aún no sabemos quiénes somos, y que al hablar de los mexicanos tendríamos que especificar de qué región, ya que cada lugar guarda y conserva diferentes costumbres.

Esa tarde, en una charla con ella, Beatriz, la doctora, la mujer amable, sencilla y con un sentido del



Fotografía: cortesía de la familia Barba.

humor extraordinario, recordó una anécdota de su primera excavación. Cavaron un pozo en una región ladrillera, y cuando estaban como a varios metros de profundidad, ella, que se encontraba en el fondo, volteó hacia arriba y lo que vio fueron cabecitas de niños, que se encontraban curioseando lo que ellos hacían. Ella pudo ver la pobreza y el hambre en esas caritas: “nosotros acá, abajo, buscando las riquezas del pasado y estos niños en el presente con una enorme necesidad”.

También hablamos de su aporte al estudio del pensamiento mágico; aquel al que recurrimos para explicarnos las cosas que con bases científicas no logramos entender. Siempre buscaremos, según el propio entendimiento, respuestas convincentes en campos maravillosos fuera de la razón. Los seguidores del pensamiento mágico religioso creen que la primera actividad filosófica del ser humano fue la

magia, luego la religión y posteriormente la ciencia; a lo que ella dijo que cada individuo posee algo de magia, ciencia y religión; el tipo de magia será según la condición social y económica de las personas. En las clases proletarias, mencionó, predomina el gusto por una magia muy enfocada a lo prehispánico; en la clase media y en los grupos intelectuales se dan inclinaciones orientadas a las culturas orientales.

Hoy, 29 de enero de 2021, a sus 92 años, me enteré de su muerte. Recuerdo su hermosa y cómplice sonrisa durante los 10 años que coincidimos en la revista *Ciencia*; sin duda, su presencia hizo más amables y bellos nuestros días. Descansa en paz, querida doctora Beatriz Barba Ahuatzin.

María Julia Hidalgo López

majuliahl@gmail.com

Política editorial



Ciencia, órgano de difusión de la Academia Mexicana de Ciencias, tiene como objetivo divulgar el quehacer científico y humanístico por medio de artículos publicados de manera electrónica en números trimestrales y, en ocasiones, como parte de números especiales. Los textos serán escritos en español para un público amplio, más allá del ámbito académico, con preparación equivalente o superior a la del bachillerato y con interés en diversas áreas del conocimiento. Sus autores deberán contribuir a difundir los logros, avances y debates de investigaciones en el ámbito nacional e internacional. Para facilitar la lectura y ofrecer mayor claridad en los contenidos, la revista **Ciencia** estará organizada en las secciones que a continuación se describen.

Sección temática

Se conforma de artículos inéditos en torno a un tema específico, de carácter científico o humanístico, de interés general. Los textos plantearán aspectos actuales del tema abordado y, en lo posible, harán hincapié en las contribuciones de su autor o las de otros investigadores nacionales.

Para esta sección, el Comité Editorial recibirá la propuesta o solicitará la colaboración de algún especialista de reconocido prestigio que, de preferencia, sea miembro activo de la Academia Mexicana de Ciencias. Éste fungirá como editor huésped y se encargará de seleccionar a los autores y los contenidos que serán incluidos en dicha sección. Los textos serán evaluados tanto por el editor huésped como por el Comité Editorial, el cual tomará la decisión final sobre su publicación.

Novedades científicas

Aportaciones originales sobre diversas áreas del conocimiento científico y humanístico. Como en el caso anterior, se deberán considerar aspectos actuales del tema, así como los avances científicos y las contribuciones realizadas por el autor y por otros investigadores nacionales. Cada artículo será dictaminado por dos especialistas en el tema, así como por el Comité Editorial.

De actualidad

Artículos que aborden algún tema científico o humanístico de gran trascendencia en el momento y que ofrezcan a los lectores elementos que informen y enriquezcan su opinión al respecto. Una vez aprobados de acuerdo con las normas que aquí se señalan, los artículos serán publicados de inmediato en el siguiente número de la revista.

Debate

Reseñas de debates —realizados en México o en el extranjero— sobre temas diversos de interés general en torno a políticas científicas o sociales, así como contribuciones destinadas a promover la discusión entre los lectores de **Ciencia**.

Desde las redes

Sección de carácter coyuntural, con pequeñas notas ilustradas, en torno a temas que actualmente se comentan en las redes sociales digitales. Su objetivo es conmemorar a personajes e informar sobre eventos científicos importantes o dar a conocer investigaciones, descubrimientos y acontecimientos de carácter científico y humanístico.

Reseñas de libros

Reseñas y comentarios acerca de títulos novedosos publicados en español, con contenidos científicos o humanísticos, de interés general.

Correspondencia

Cartas de los lectores destinadas a comentar artículos aparecidos en números anteriores de **Ciencia**, así como misivas con sugerencias, comentarios o críticas a la revista.

Noticias y comentarios

Notas breves, provenientes de la Academia Mexicana de Ciencias, que consignen acontecimientos relacionados con la ciencia, actividades académicas o reconocimientos importantes otorgados a miembros de la comunidad científica mexicana.

Instrucciones a los autores

Ciencia publica artículos de divulgación dirigidos a todos los interesados en el quehacer científico y humanístico contemporáneo. La revista desea incluir entre sus lectores no sólo a personas con estudios universitarios, sino también a estudiantes de nivel medio superior. Por lo tanto, los autores deberán usar obligadamente un lenguaje sencillo —aunque no necesariamente coloquial—, desprovisto de tecnicismos innecesarios y de expresiones rebuscadas o densas, así como de abreviaturas que no sean de uso común. A manera de complemento, se recomienda el empleo de imágenes y distintos tipos de materiales gráficos, pues facilitan la comprensión del texto. El propósito es buscar que la lectura sea fácil, amena y motivante, de forma que suscite las discusiones y los comentarios de los lectores. Para obtener más información sobre las características deseables de los textos, se sugiere revisar las “Recomendaciones básicas para autores de la revista **Ciencia**”, publicadas en el volumen 59, número 4, y disponibles en la página electrónica: <<https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/recomendaciones.pdf>>.

Toda contribución deberá cumplir con las especificaciones que se mencionan más adelante, de acuerdo con las características de cada sección de la revista. Una vez cumplido este requisito, los textos serán evaluados por el Comité Editorial, así como por uno o dos expertos en el campo, cuyos comentarios serán enviados para la consideración de los autores, de ser necesario. Con el objetivo de facilitar el trabajo de dictamen, los autores deberán enviar sus artículos revisados y acompañados de una respuesta puntual a los comentarios de los revisores, en la que se mencionen las modificaciones que hayan o no realizado en el manuscrito.

Los trabajos aceptados serán programados para su publicación de acuerdo con la disponibilidad de espacio en los próximos números de **Ciencia** y según su fecha de aprobación. Para dar comienzo al proceso de producción editorial, los textos serán turnados a una persona que realizará la corrección de estilo y divulgación, quien solicitará los últimos cambios y la aprobación final de los autores. La revista cuenta con ilustradores expertos que, de acuerdo con las versiones enviadas por los autores, adecuarán las imágenes y el material gráfico en función del diseño de la revista. Por último, se notificará a los autores cuando su artículo sea publicado.

Envío de los textos

Los trabajos propuestos deberán ser enviados al correo electrónico <ciencia@unam.mx>, en atención al Dr. Alonso Fernández Guasti, director de *Ciencia*.

Los artículos no podrán ser firmados por más de tres autores. Cada autor deberá incluir una ficha personal que contenga, exclusivamente, su nombre completo, la institución en la que labora y su correo electrónico.

Con el objeto de designar a los revisores idóneos y facilitar el manejo de los textos por parte del Comité Editorial, se solicita a los autores la inclusión de un título corto y tres palabras clave. Asimismo, deberán adjuntar una lista de tres especialistas en el tema que pudieran revisar y evaluar su trabajo, e indicar las razones por las que han sido sugeridos.

Todas las contribuciones deberán enviarse en archivo Word, formato carta, con márgenes de 2.5 cm de cada lado. Se debe usar el tipo de letra Times New Roman de 12 puntos, con interlínea doble. Para ayudar a la labor de los revisores y a la comunicación con el autor, las páginas y los renglones del artículo tendrán que numerarse.

Características generales

Los textos deberán ser inéditos; es decir, su contenido no se habrá publicado previamente en ningún medio impreso o electrónico.

Los trabajos podrán acompañarse de imágenes, gráficas y tablas que aclaren o complementen el contenido textual. Sólo deberán elegirse aquellas que resulten indispensables para la correcta comprensión del artículo. Deberán enviarse en archivos por separado, de acuerdo con las especificaciones que se mencionan más adelante. Con la finalidad de facilitar su ubicación durante la lectura, estarán referidas en el cuerpo de texto, irán numeradas y tendrán un breve título explicativo como pie.

Para facilitar la lectura, se recomienda organizar el contenido del artículo en apartados con subtítulos cortos y claros. Asimismo, se pueden incluir recuadros de texto que complementen el tema principal. Se sugiere, de igual manera, el empleo de ilustraciones en estos recuadros.

Tendrán que evitarse en lo posible las notas a pie de página, las que, en caso necesario, serán breves y de fácil comprensión.

Las abreviaturas y siglas pueden generar confusión y dificultad en su lectura; por esta razón, sólo se aceptarán abreviaturas de uso común o que se repitan en el texto en más de 10 casos. Las abreviaturas deberán definirse en el momento de ser mencionadas por primera vez.

Sólo en caso de no poder definir o explicar algún término especializado o un concepto técnico dentro del discurso del texto, los autores podrán marcar o subrayar las palabras que serán incluidas en un glosario. Éste deberá tener el mínimo de términos posible y ofrecerá definiciones claras, las cuales no podrán exceder los 90 caracteres con espacios.

Además de las consideraciones anteriores, los autores tendrán que tomar en cuenta las siguientes indicaciones con relación a las diferentes secciones de *Ciencia*, así como para el empleo de material gráfico y referencias.

Sección temática

Los autores deberán redactar un texto breve, a manera de resumen del contenido general, que no deberá exceder los 400 caracteres con espacios y que se ubicará al inicio del artículo, con el objetivo de generar mayor interés en los lectores.

Los textos no incluirán, en conjunto, más de cinco imágenes, gráficas o tablas.

Las referencias citadas a lo largo del texto deberán ser de fácil acceso para el público, de preferencia en español, y limitarse al mínimo.

No podrán exceder las 7 fichas bibliográficas; éstas se colocarán al final de cada artículo, de acuerdo con los criterios que se explican más adelante.

El texto de cada artículo tendrá que constituirse con un máximo de 16 000 caracteres con espacios (alrededor de 8 o 9 cuartillas). En ese número de caracteres tendrán que contabilizarse: título, resumen, cuerpo de texto, recuadros, pies de figuras, referencias y datos de los autores.

De manera opcional, podrán incluirse hasta dos recuadros de texto a manera de complemento. Cada uno tendrá una extensión máxima de 1 800 caracteres con espacios (una cuartilla).

La extensión máxima de la sección temática no deberá exceder los 115 000 caracteres con espacios (alrededor de 64 cuartillas).

Novedades científicas

Estos trabajos deberán seguir las mismas especificaciones de los artículos de la sección temática.

De actualidad

Los artículos de esta sección deberán tener las mismas características que aquéllos destinados a publicarse dentro de la sección temática o como parte de las novedades científicas.

Debate

Salvo casos excepcionales, las contribuciones para esta sección no deberán ser mayores de 9 000 caracteres con espacios (cinco cuartillas) y no contendrán ilustraciones. Las referencias bibliográficas no podrán ser más de tres.

Desde las redes

Cada nota irá acompañada de una o dos referencias y una imagen ilustrativa. En total, no superarán los 6 000 caracteres con espacios (alrededor de 3 cuartillas).

Reseñas de libros

No podrán exceder 2 400 caracteres con espacios (una cuartilla y media) y se acompañarán con la fotografía en alta resolución de la portada del título en cuestión.

Correspondencia

Las contribuciones para esta sección tendrán como máximo 3 600 caracteres con espacios (dos cuartillas) y deberán ser escritas en forma concisa y con lenguaje respetuoso.

Noticias y comentarios

El contenido de esta sección será elaborado por el equipo de la Academia Mexicana de Ciencias, de acuerdo con sus actividades oficiales y necesidades de comunicación.

Ilustraciones, fotografías y gráficas

Con la finalidad de facilitar su ubicación durante la lectura, estarán referidas en el cuerpo de texto, irán numeradas y tendrán un breve título explicativo como pie.

Las ilustraciones, fotografías o gráficas que envíen los autores para acompañar su texto deberán ser digitalizadas en 300 puntos por pulgada (dpi) y encontrarse en archivos por separado, debidamente nombrados. Se deberá dar el crédito correspondiente a los autores de este material y contar con el permiso de reproducción o cesión de los derechos de autor. Por lo general, las imágenes que provienen de internet tienen una resolución de 72 dpi, por lo que carecen de la

En nuestro próximo número
julio-septiembre de 2021:

El cine como herramienta de enseñanza



Coordinación de la
Investigación Científica UNAM

