

elementos

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA • No. 129 • Volumen 30 • enero - marzo 2023 • \$40.00

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



EXHIBIR HASTA EL 31-MARZO-2023

La última fotografía | Un tema incómodo para las ciencias sociales... | ¿Por qué nos gusta el aroma del chocolate? | Arsénico en el agua potable en México | Amos de la noche: la polinización por murciélagos | Nanomateriales y su aplicación en la retención de fluoruros en sistemas acuosos | Nanomateriales: un rompecabezas científico | Diodos emisores de luz, un dispositivo semiconductor | Desarrollo de sistemas inteligentes para liberación de fármacos | El biodiésel... ¿listo para brillar en México? | Desaciertos de los biocombustibles en México | Las plantas que pueden o no hacer fotosíntesis... | Resistencia antimicrobiana desde la perspectiva de "Una salud" | Salmonelas peligrosas y dónde encontrarlas: México | Granjas de insectos comestibles | Meliponinos: las abejas que polinizando se comunican | ¿Cuántas especies hay?... | La felicidad viaja en motocarro: Enrique Soto



S U M A R I O



BUAP

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

ELEMENTOS

www.elementos.buap.mx

revista trimestral de ciencia y cultura
 número 129, volumen 30, enero-marzo de 2023

director, Enrique Soto Eguibar

subdirector, José Emilio Salceda

diseño y producción gráfica, Mirna Guevara

corrección de estilo, Emilio Salceda y Leopoldo Noyola

símbolo web y laboratorio multimedia, Leopoldo Noyola

redes sociales, Mirna Guevara

administración y logística, Lorena Rivera e Ileana Gómez

redacción, 14 Sur 6301, Ciudad Universitaria

Apartado Postal 406, Puebla, Pue., C.P. 72570

email: esoto24@gmail.com

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

obra gráfica, © Enrique Soto

1° de forros, © Tehuantepec, Oaxaca XII, 2013
2°, 3° y 4° de forros, © Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008

CINTILLO LEGAL

ELEMENTOS, Año 38, No. 129., enero a marzo de 2023, es una publicación trimestral editada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con domicilio en 4 Sur número 104, Col. Centro, C. P. 72000, Puebla, Pue., y distribuida a través de Revista Elementos, con domicilio en Av. 14 Sur No. 6301, Col. San Manuel, Puebla, Pue. C. P. 72570. Tel. 222 229 55 00 ext. 7316. Editor responsable Dr. Enrique Soto Eguibar, esoto24@gmail.com. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2018-101113435900-102. ISSN 0187-9073, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Cultura. Número de Certificado de Licitud de Título y Contenido (en trámite) en la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Este número se terminó de imprimir en diciembre de 2022. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
 DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



La última fotografía **3**
 Enrique Soto Eguibar

Un tema incómodo para las ciencias sociales: **7**
 La comparación hegeliana entre los credos religiosos
 H. C. F. Mansilla

¿Por qué nos gusta el aroma del chocolate? **13**
 Cristian J. Mendoza-Meneses, Ana A. Feregrino-Pérez, Claudia Gutiérrez-Antonio

Arsénico en el agua potable en México **19**
 Abril Munguía-Lara, Lucero Hernández Martínez y Nadia Martínez Villegas

Amos de la noche: la polinización por murciélagos **25**
 Xiumy M. Sánchez Collazo, Dulce M. Figueroa Castro

La felicidad viaja en motocarro **31**
 Enrique Soto

Nanomateriales y su aplicación en la **35**
 retención de fluoruros en sistemas acuosos
 María de Jesús Jiménez Ángeles, Rubén Ruiz Ramos, Sandra Loera-Serna

Nanomateriales: un rompecabezas científico **41**
 César I. Corpus Mendoza, Gerardo R. Rodríguez Contreras, Gabriela Navarro Tovar

Diodos emisores de luz, un dispositivo semiconductor **47**
 Francisco Ramírez, Godofredo García

Desarrollo de sistemas inteligentes **53**
 para liberación de fármacos
 Maricruz Sagaste Higuera, Ana María Morales Burgos, Brandon B. Lugo Moreno

El biodiésel... ¿listo para brillar en México? **59**
 Mara F. Juárez-Cota, Moisés O. Patiño-Galeana, David U. Santos-Ballardo

Publicación digital

Desaciertos de los biocombustibles en México **65**
 Angel Daniel Ramírez Herrera

Las plantas que pueden o no hacer fotosíntesis: **71**
 las parásitas
 Francisca Morayna Gutiérrez Luna, Sonia Vázquez Santana

Resistencia antimicrobiana desde la perspectiva **77**
 de "Una salud"
 Nadia Rodríguez-Medina, Ulises Garza-Ramos

Salmonelas peligrosas y dónde encontrarlas: México **83**
 Adrián Gómez Baltazar, Dalia Miranda Castilleja, Angélica Godínez Oviedo

Granjas de insectos comestibles **89**
 María de la Luz Sánchez Estrada, Ana Angélica Feregrino Pérez

Meliponinos: las abejas que polinizando se comunican **95**
 Leopoldo Cruz-López, David Alavez-Rosas

¿Cuántas especies hay? Una actualización para **99**
 las primeras dos décadas del siglo XXI
 Jorge Mercado, Tania Escalante Espinosa



© **Enrique Soto**. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2013.

La última fotografía

Enrique **Soto Eguibar**

Dame una fotografía y te construiré el mundo.

Susana Fortes, *Esperando a Robert Capa*

Con la expansión en el uso y disponibilidad de cámaras fotográficas ha habido diversas discusiones acerca del futuro de la fotografía. Hay quienes piensan que cualquiera con una buena cámara moderna puede hacer fotos “profesionales”. Por mi parte, pienso que fotografiar implica una cierta forma de mirar y entender lo que se mira, además de que la fotografía se desarrolla de forma temática y el procesamiento de la toma sigue siendo un asunto relativamente complejo que requiere de un aprendizaje prolongado o, al menos, de un entrenamiento iniciático en el arte y la técnica de la fotografía.

Sin embargo, hemos sido testigos de algunas fotografías que, independientemente de su calidad, valor artístico o de quien las haya tomado, son profundamente impactantes y constituirán, a largo plazo, imágenes a tener en la mente, esencialmente por su contenido y porque tienen eso que Cartier Bresson llamó “el instante decisivo”. Por ejemplo, las fotografías de Abu Ghraib que, si bien fueron tomadas en condiciones inadecuadas y –según se alcanza a juzgar– por un aficionado, tuvieron un impacto duradero que las hace ya parte importante de la historia de la fotografía y fueron decisivas en el fin del abuso sufrido por los presos en Irak.

Creo que su valor heurístico puede equipararse al de la famosa fotografía de David Burnett, quien retrató a una niña desnuda corriendo en una carretera luego de haber sido rociada con napalm, o la fotografía de Eddie Adams en que un sujeto está disparando directo a la cabeza de un prisionero con las manos atrás (suponemos que atadas). Ambas tuvieron un efecto devastador sobre la “popularidad” de la guerra de Vietnam y, sin duda, ayudaron en mucho a ponerle fin.

Pienso en otras fotografías que han tenido un enorme valor simbólico: la *Muerte de un miliciano* de Robert Capa, o las fotos –del mismo autor– del desembarco en Normandía. Igualmente, algunas filmaciones han dejado su huella en la historia. Es indudable que la filmación del asesinato despiadado del reportero norteamericano Bill Stewart en Nicaragua por parte de los militares somocistas contribuyó a cambiar la percepción que en Estados Unidos se tenía de dicho gobierno. Más recientemente pudimos ver, en una muy mala filmación de teléfono celular, la ejecución de Saddam Hussein, que causó tanto revuelo. Parece que hoy nada escapa a las cámaras (video y fotografía son cada vez más lo mismo y en los hechos ya están fusionados en una única tecnología relativamente barata).

En nuestro alicaído país pudimos, lamentablemente, presenciar hace años por medio de un video de seguridad (de muy mala calidad, lo que por cierto no ayudó a la identificación de los criminales): el asesinato de Marisela Escobedo en Chihuahua. A pesar de su pésima calidad, su valor es enorme y constituye un documento incontrovertible de violencia y deshumanización. Al mirarlo es imposible evitar la náusea. Es muy significativa e indignante también la foto del supuesto cadáver del narcotraficante Arturo Beltrán Leyva, ensangrentado, semidesnudo y cubierto de billetes.

El valor de esta foto reside en que de un golpe devela la absoluta falta de respeto a la ley por parte



La familia de Reynaldo Dagsa fotografiada al lado del asesino segundos antes de disparar (al fondo a mano izquierda, el punto blanco es el destello de la pistola).

de los encargados de la ley, y pone de manifiesto, de forma objetiva, que quienes debieran preservar la escena de un crimen, la alteran a su gusto (aunque sea un crimen realizado en nombre de la ley, es un crimen, y debe ser investigado adecuadamente). Es también evidencia del desprecio por la vida y las personas, y de la deshumanización de policías, militares, forenses y, probablemente, de la sociedad en general.

Pero en el año 2011 se publicó en diversos medios del mundo una fotografía insólita y cuyo valor es realmente único. Constituye un hito en la documentación de la violencia. Según se lee en la edición del periódico *El País* del 4 de enero de 2011:

Reynaldo Dagsa, un concejal filipino, retrataba a su familia durante la celebración de la ruidosa Nochevieja filipina a las puertas de su casa en la localidad de Caloocan, un suburbio de Manila. No podía sospechar que esta iba a ser la última foto que tomaría en su vida y es que, en una esquina de la imagen, se coló el inquietante retrato de su asesino. Cuando Reynaldo Dagsa apretó el disparador de la cámara, el criminal hizo lo mismo con el gatillo de su pistola. La imagen retrata así el instante previo a su propia muerte.

Resulta imposible imaginar esta coincidencia. Alguien que apunta y dispara su cámara al sitio donde alguien le apunta y dispara con una pistola. De la oscuridad, el disparo del flash hace emerger



© Robert Capa/Gerda Taro. *Muerte de un miliciano*, imagen original a la izquierda. Foto colorizada a la derecha por Cassowary Colorizations.

al asesino. Un documento para la historia de la fotografía y del horror humano. El criminal aparece con los ojos bien abiertos y con la mirada dirigida frontalmente al sujeto, a quien ha identificado y apunta. Es la mirada de la muerte. Probablemente en sus pupilas quedó reflejado el horror del fotógrafo, o quizá únicamente el destello del flash. ¿Se habrá percatado Reynaldo Dagsa de los acontecimientos que se desarrollaban en su entorno, o preocupado en encuadrar, activar el flash, mirando sonriente a su familia, habrá muerto sin darse por enterado?

El motivo del asesinato según se lee en la nota, fue la venganza, ya que el funcionario había enviado a la cárcel al sujeto por robo de automóviles. Parece una venganza desproporcionada; tal vez insultarlo, o arrojarle un jitomate hubiera sido una forma balanceada de venganza, pero el hombre ha perdido el símbolo. Solo valen los hechos y, entre los violentos, el hecho supremo es el asesinato. En publicaciones en que aparece la fotografía completa (la mayoría de las publicadas recogen una parte), puede verse frente a Reynaldo Dagsa su automóvil con la luz encendida, lo que facilitó al asesino clarearlo, como se dice en el argot. En la fotografía, además, aparece en segundo plano un sujeto que mira al asesino y que según se informa se ha identificado como cómplice del mismo.

Como sea, esta foto, aunque de mala calidad, es singular y, pienso, es la foto definitiva en lo que a violencia se refiere. Entre *Muerte de un miliciano*, en que Capa atestigua con la imagen la caída del soldado republicano Federico Borrell García, y la

foto que de su propia muerte ha tomado Reynaldo Dagsa, que además tiene como testigo del hecho a su propia familia, se forma un paréntesis en el que queda todo el resto de imágenes de la violencia.

Entre las fotos más significativas, esta es la que por ningún motivo nadie quisiera haber tomado nunca. La última fotografía. El instante decisivo e irremediable, la foto de la muerte: desde ver morir a un hombre hasta retratar la circunstancia de su muerte, con la parca de frente, acechándolo, arriándose. La razón de que esto suceda es que hoy probablemente ningún acontecimiento, gesto o suceso escapa a las cámaras de fotografía que dan testimonio de lo que ocurre en el mundo de forma que jamás nadie pudo imaginar.

Son tantas las fotos que se acumulan instante a instante que finalmente, imagino, existe un mundo alterno, tan complejo como este y que es el mundo de las fotos, en el que el tiempo no pasa por ahí. Los acontecimientos se enciman unos sobre otros y todo ocurre en un mismo momento. O quizás no hay nada y todo es simplemente vapor: nada se ve, nada, solo se escucha click, click, click, y de forma análoga resonará el mundo de la violencia: pum, pum, tra tra tra, piu, pas.

Enrique Soto
Instituto de Fisiología
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
esoto24@gmail.com



© **Enrique Soto**. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

Un tema incómodo para las ciencias sociales: La comparación hegeliana entre los credos religiosos

H. C. F. **Mansilla**

En su inmensa obra *G. W. F. Hegel* explicó por qué apreciaba altamente los valores de amor y solidaridad propalados por el cristianismo¹ y por qué suponía que no todas las religiones son iguales entre sí. La filosofía hegeliana ha establecido una jerarquía de los credos religiosos, fundamentada en la evolución histórica de las religiones. Esta gradación de los diferentes credos está obviamente a contrapelo de la corrección política contemporánea, y esto la hace particularmente interesante. En su análisis de las religiones Hegel llegó a la misma conclusión que en su estudio de la historia, las instituciones políticas, la estética y el pensamiento en general: todos los fenómenos humanos están concatenados en una evolución progresiva hacia formas cada vez más complejas y razonables.² Todas las religiones son necesarias para el desarrollo mundial de un gran credo, pero no son equivalentes entre sí en calidad intelectual y desarrollo racional. Para Hegel el cristianismo representa la religión filosófica por excelencia, porque está basado en un principio racional, en una consciencia aguda de sí mismo, en la evolución más avanzada del pensamiento teológico, en la experiencia de la libertad individual y en la ley suprema del amor y la caridad.³

La abolición de la esclavitud –el régimen socio-económico habitual durante la Antigüedad clásica– fue posible,

según Hegel, gracias al cristianismo y a su idea central de la igualdad de todos los mortales ante Dios. Jesucristo y Sócrates fueron percibidos por Hegel como maestros similares de la moral y la sabiduría. Mucho más tarde, el cristianismo del mundo germánico se transformaría en la gran síntesis de Oriente (la temprana religión evangélica del amor) y Occidente (la filosofía y los esfuerzos racionales).⁴ Los pueblos germánicos habrían llevado a cabo la magna labor histórica de una combinación bien lograda entre razón y fe. De acuerdo con Hegel no hay una contradicción absoluta entre ambos términos ni tampoco una identificación total, sino una compleja relación de complementación. La religión es la razón humana, pero situada en los sentimientos y en el corazón. Las naciones germánicas habrían adoptado lo mejor del mundo grecolatino: la vida urbana, las leyes, los estudios y la religión cristiana, y habrían unido estos elementos con la esencia de su ámbito propio: el amor a la verdad y la libertad.⁵ Los germanos, según Hegel, aceptaron y ennoblecieron la herencia de los filósofos griegos y del Estado romano; la superación y síntesis elaborada por estos pueblos –cuyo símbolo fue Carlomagno– puede ser vista en la convivencia entre Iglesia y Estado en Europa Occidental, una convivencia ciertamente difícil, pero que puede ser considerada como una síntesis superior que resguarda la autonomía de ambas partes y crea al mismo tiempo un nivel más elevado del desarrollo humano.⁶ Como lo vislumbró Hegel, la separación entre Estado e Iglesia adquiere una enorme relevancia histórica, porque ella posibilita de manera efectiva la vigencia de la religión en un mundo que se moderniza de forma acelerada. Esta evolución –tan diferente a lo que prevalece todavía en el ámbito islámico–, es precisamente lo que dificulta, según Hans Maier (siguiendo a Hegel), el surgimiento de regímenes totalitarios.⁷

Con la Reforma protestante los alemanes habrían salvado y consolidado la prevalencia de una mentalidad exenta de la corrupción y la decadencia propias de la Iglesia católica.⁸ Hegel tuvo una posición muy crítica con respecto al desarrollo del catolicismo en la Edad Media y el Renacimiento: condenó



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

las cruzadas, censuró los abusos y el engaño subyacente a la adoración de las reliquias y formas similares del culto; rebatió la equiparación de superstición con piedad; rechazó la manipulación de las ilusiones populares por parte de la Iglesia, e impugnó toda utilización religiosa de la sensualidad que no fuese amortiguada o ennoblecida por la razón.⁹

Por lo tanto, el credo racional y autoconsciente de sí mismo que Hegel propugnó era el cristianismo que ha experimentado la Reforma protestante luterana, que es –de acuerdo a este autor– como el Sol que todo aclara y embellece. Este cristianismo reformado puede ser considerado, según Hegel, como la restitución de la intención evangélica primigenia. Surgió a causa de la decadencia, los abusos y la corrupción de la Iglesia católica y, sobre todo, del aprendizaje que se pudo hacer de los errores mencionados. De acuerdo con nuestro autor, la confesión luterana podría ser percibida como la necesaria espiritualización del cristianismo y, al mismo tiempo, como la devolución de lo más noble del ser humano. Hegel celebró en todo sentido la obra racionalizadora y modernizante de Martín Lutero y de los príncipes protestantes que lo apoyaron: la instauración de la alfabetización popular, el rechazo de la infalibilidad papal, la prescindencia del sacerdocio en las relaciones entre Dios y los fieles, la abolición del celibato y de las órdenes monacales, la restitución de la dignidad a la familia

y la vida laboral y el fomento de las universidades laicas. Hegel elogió el examen de consciencia de los protestantes como una forma preparatoria e indispensable de la autoconciencia crítica de la filosofía, precisamente porque hacía superflua la ayuda interesada y la manipulación de parte del sacerdocio.¹⁰

La jerarquía de las religiones que subyace a la teoría hegeliana tiene evidentemente un carácter eurocéntrico, lo que se manifiesta en su celebración del protestantismo. Hoy en día no podemos compartir sin más estas valoraciones y la teoría que se desprende de ellas, pero debemos considerar algunos de sus argumentos observando la evolución posterior, especialmente los experimentos sociopolíticos del siglo XX. Como lo han visto Hegel y otros pensadores, las religiones conllevan –entre otros aspectos– un ordenamiento simbólico de la realidad y poseen, por lo mismo, un “alto grado de racionalidad”.¹¹ Este último puede ser entendido como un rol históricamente creativo, sobre todo en los tiempos formativos de los diferentes modelos civilizatorios, rol que, por supuesto, no ha sido siempre benéfico ni progresivo. No todas las culturas y sus credos correspondientes han desarrollado, sin embargo, una exégesis crítica, racional e histórica con respecto a sus propios hechos fundacionales, a sus raíces profundas y a sus textos sagrados. Ahí reside una de las ventajas comparativas del cristianismo racionalizado occidental (como lo concibió Hegel). Por otra parte, hoy en día es inadecuado percibir el islam¹² como lo hizo Hegel en las primeras décadas del siglo XIX, pero su apreciación general de este

credo sigue siendo ilustrativa e interesante. Esta mención del islam sirve para ilustrar la tesis heterodoxa e incómoda de que no todas las religiones son equivalentes a la hora de generar una consciencia social favorable a la protección de los ecosistemas o una praxis basada en la solidaridad cuando intervienen comunidades muy diferentes en sus hábitos culturales, políticos y religiosos en un mundo, como el actual, cada día más pequeño e intercomunicado.

De acuerdo con Hegel, el profeta Mahoma tuvo el mérito de suprimir los particularismos religiosos y culturales en el Cercano Oriente y edificar un orden general abstracto que significó un notable progreso evolutivo. El islam representaría una religión con fuertes rasgos intelectuales: no permite imágenes de Dios, no existen santos ni vírgenes, es igualitario, no favorece a una etnia en particular y no define a un pueblo determinado como el elegido de Dios.¹³ De acuerdo con Hegel, al islam le falta, empero, un sólido principio organizador de instituciones políticas y culturales con vida propia. La vinculación demasiado estrecha y absorbente entre religión y sociedad, entre fe y Estado y entre credo y vida civil impide el despliegue de elementos sociales autónomos, de factores políticos independientes y de otras “particularidades” fuera del Estado central que podrían fructificar el desarrollo modernizador de las naciones musulmanas. Este nexo excesivamente englobante entre religión y sociedad favorece el fanatismo y la intolerancia y se manifiesta, dice Hegel, en un entusiasmo continuo con características infantiles.¹⁴

La ley suprema del amor y la caridad existe probablemente en casi todos los credos religiosos, pero hoy, para contrarrestar los efectos nocivos de una modernidad desbocada, necesitamos un sentimiento religioso que combine una consciencia aguda de sí mismo con una comprensión efectiva de nuestras limitaciones ecológicas y con una manifiesta inclinación positiva hacia la libertad y autonomía individuales. Con el riesgo de una crasa equivocación, se puede aseverar que la experiencia histórica nos sugiere que las religiones de este tipo presuponen una evolución muy avanzada de

© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.



su propio pensamiento teológico-filosófico y una aceptación concomitante de los progresos políticos conseguidos desde la época de la Ilustración, como la vigencia de la libertad y autonomía individuales.¹⁵ Ya no podemos renunciar a esta conquista de la cultura occidental. Y los credos religiosos pertenecientes a este ámbito cultural parecen ser los más apropiados a nuestras necesidades actuales.

No deberíamos, por consiguiente, apoyar y legitimar la reinvención de cultos animistas y similares (como las religiones andinas), que pueden tener elementos importantes de solidaridad entre los fieles y respeto a la naturaleza, una solidaridad no mediada mediante instrumentos burocráticos, pero que carecen de las cualidades intelectuales que se logran a través del desarrollo de una religión que ha pasado y asimilado todos los peldaños del proceso de autoconsciencia. No se consigue una crítica racional de la modernidad –y, por consiguiente, una que sea efectiva en nuestro tiempo– mediante el renacimiento de credos religiosos que no hayan transcurrido por un largo proceso de autoconocimiento teológico-filosófico y de autocritica filosófico-política, por más prestigio social e histórico que tengan estos fenómenos religiosos. Esta insistencia en un proceso racional-autocrítico de conformación de una fe religiosa a la altura de la modernidad puede dar la impresión de un argumento altamente eurocéntrico que, como tal, no serviría para explicar la evolución de los credos en otros ámbitos geográfico-culturales. Pero, como asevera Jürgen Habermas, el notable mérito de las religiones intelectuales ha sido justamente generar respuestas productivas frente a desafíos cognitivos y superar un pensamiento concretista, es decir, poco abstracto. Este desarrollo no se podría explicar mediante el conocido recurso de acudir a las cambiantes condiciones sociales (y económicas) en las que se despliegan las religiones.¹⁶ El cristianismo, por ejemplo, habría creado de manera original la base cognitiva de las modernas estructuras de consciencia y de la organización social contemporánea; sin el cristianismo no se podría comprender el universalismo igualitario, la



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

concepción de una vida individual regulada de forma autónoma y la responsabilidad ética personal.¹⁷ Con el alto riesgo de un error se puede decir que el cristianismo racionalizado de Occidente, sobre todo en los últimos siglos, fomentó paulatinamente una desactivación de las formas militantes de dogmatismo religioso y, tal vez a pesar de sus dirigencias institucionales, creó la posibilidad de un pluralismo de ideas y doctrinas de todo tipo: la coexistencia de los credos ha llevado a la coexistencia de diversas verdades filosófico-políticas.

Hoy no podemos retroceder al calor indiferenciado de las tribus y de las organizaciones sociales arcaicas, por más atrayente y humana que parezca esta concepción, celebrada ahora por los teóricos del comunitarismo radical. No podemos volver a sumergirnos en ese mundo premoderno que brindaba generosamente solidaridad, reconocimiento e identidad, porque sería recaer en un anacronismo en el cual los prejuicios del lugar y del tiempo, el desconocimiento de otras culturas y el cultivo del provincianismo se constituían en leyes de muy difícil modificación. La obediencia ciega que prescribía el orden premoderno a sus súbditos impedía el despliegue de una individualidad creativa y segura de sí misma, que representa una de las conquistas más apreciadas y más valiosas de la modernidad. Las palabras finales de *El espíritu del cristianismo*, obra de la juventud de Hegel, nos recuerdan que es imposible volver a la fusión original de Iglesia y Estado o vida cotidiana y credo religioso, y que esta separación es a largo plazo buena y razonable.¹⁸

NOTAS

- ¹ En este contexto toda la obra de Hegel es importante. Sus primeros y brillantes escritos (1793-1800), en su mayoría de carácter teológico-filosófico, nos muestran la relevancia sociopolítica de una religión basada en el amor al prójimo, la caridad, la solidaridad y el agradecimiento al Creador. Cf. ante todo G. W. F. Hegel, *[Fragmente über Volksreligion und Christentum, 1793-1794]* (Fragmentos sobre religión popular y cristianismo; título de la obra entre corchetes porque corresponde a los compiladores), en: G. W. F. Hegel, *Werke in zwanzig Bänden* (Obras en veinte tomos), compilación de Eva Moldenhauer y Karl Markus Michel, Frankfurt: Suhrkamp 1970, vol. I: *Frühe Schriften* (Escritos tempranos), pp. 9-103; G. W. F. Hegel, *[Die Positivität der christlichen Religion, 1795-1796]* (La positividad de la religión cristiana), en: G. W. F. Hegel, *Werke...*, *ibid.*, vol. I, pp. 104-229.
- ² G. W. F. Hegel, *Vorlesungen über die Philosophie der Geschichte* (Lecciones sobre la filosofía de la historia), en: G. W. F. Hegel, *Werke...*, *op. cit.* (nota 1), vol. 12, pp. 68-72, 405. El desplazamiento de los credos paganos por el cristianismo fue visto por Hegel como una "revolución prodigiosa": G. W. F. Hegel, *Die Positivität...*, *op. cit.* (nota 1), aquí p. 203.
- ³ Sobre esta temática cf. dos conocidas obras: Herbert Marcuse, *Vernunft und Revolution. Hegel und die Entstehung der Gesellschaftstheorie* (Razón y revolución. Hegel y el surgimiento de la teoría social), Neuwied / Berlin: Luchterhand 1962; Karl Löwith, *Von Hegel zu Nietzsche. Der revolutionäre Bruch im Denken des 19. Jahrhunderts* (De Hegel a Nietzsche. La ruptura revolucionaria en el pensamiento del siglo XIX), Stuttgart: Kohlhammer 1964.
- ⁴ G. W. F. Hegel, *Vorlesungen über die Philosophie der Religion* (Lecciones sobre la filosofía de la religión), en: G. W. F. Hegel, *Werke...*, *op. cit.* (nota 1), vols. 16 y 17, *passim*.
- ⁵ G. W. F. Hegel, *Vorlesungen über die Philosophie der Geschichte*, *op. cit.* (nota 2), pp. 385-406, especialmente p. 395, 405.

⁶ *Ibid.*, pp. 413-417.

⁷ En una perspectiva similar a la de Hegel cf. el brillante texto de Hans Maier, *Welt ohne Christentum – was wäre anders?* (El mundo sin cristianismo – ¿qué sería diferente?), Freiburg: Herder 1999, p. 159, 165.

⁸ G. W. F. Hegel, *Vorlesungen...*, *op. cit.* (nota 2), pp. 413, 423, 440, 492-495.

⁹ *Ibid.*, pp. 467-477.

¹⁰ *Ibid.*, pp. 492-508, especialmente p. 497.- Sobre la significación de la Reforma protestante cf. Jürgen Habermas, *Rawls' politischer Liberalismus* (El liberalismo político de Rawls), en: Jürgen Habermas, *Nachmetaphysisches Denken II. Aufsätze und Repliken* (Pensamiento postmetafísico II. Ensayos y réplicas), Frankfurt: Suhrkamp 2012, pp. 277-307, especialmente p. 300.

¹¹ Fernando Mires, *El malestar en la barbarie. Erotismo y cultura en la formación de la sociedad política*, Caracas: Nueva Sociedad 1998, p. 50; sobre la diferencia fundamental entre religión y filosofía cf. Fernando Mires, *Política como religión*, en: Cuadernos del CENDES (Caracas), vol. 27, N° 73, enero-abril de 2010, pp. 1-30, especialmente pp. 3-4.

¹² Hans Küng ha tratado de hacer justicia al islam mediante una obra realmente notable por su dimensión y erudición: Hans Küng, *Der Islam. Geschichte, Gegenwart, Zukunft* (El islam. Historia, presente, futuro), Munich / Zurich: Piper 2006.

¹³ G. W. F. Hegel, *Vorlesungen...*, *op. cit.* (nota 2), pp. 428-430.

¹⁴ *Ibid.*, pp. 430-434, especialmente p. 431. Hoy podemos decir que de ahí se deriva una posible predisposición a percibir actos terroristas como si fueran manifestaciones de apego a una ortodoxia simplificada, pero relativamente popular.

¹⁵ No se puede concebir la cultura occidental sin el cristianismo, dice Gianni Vattimo, *Das Zeitalter der Interpretation* (La era de la interpretación), en: Richard Rorty / Gianni Vattimo, *Die Zukunft der Religion* (El futuro de la religión), compilación de Santiago Zabala, Frankfurt: Suhrkamp 2006, pp. 49-63, aquí pp. 61-62.

¹⁶ Jürgen Habermas, *Religion und nachmetaphysisches Denken* (La religión y el pensamiento postmetafísico), en: Habermas, *Nachmetaphysisches Denken II*, *op. cit.* (nota 10), pp. 120-182, aquí p. 123, 125.

¹⁷ Jürgen Habermas, *Ein Gespräch über Gott und die Welt* (Una conversación sobre Dios y el mundo), en: Jürgen Habermas, *Zeit der Übergänge. Kleine politische Schriften IX* (Tiempo de transiciones. Escritos políticos breves IX), Frankfurt: Suhrkamp 2001, pp. 173-196, aquí pp. 174-175.

¹⁸ G. W. F. Hegel, *[Der Geist des Christentums]* (El espíritu del cristianismo; título de la obra entre corchetes porque corresponde a los compiladores de la edición citada), versión de 1798-1799, en: G. W. F. Hegel, *Werke...*, *op. cit.* (nota 1), vol. 1, pp. 317-418, aquí p. 418.

H. C. F. Mansilla
Miembro de número de la Academia
de Ciencias de Bolivia
hcf_mansilla@yahoo.com

© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.





© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

¿Por qué nos gusta el aroma del chocolate?

Cristian J. **Mendoza-Meneses**
Ana A. **Feregrino-Pérez**
Claudia **Gutiérrez-Antonio**

El chocolate es un alimento que ha trascendido en la cultura popular por su sabor y aroma. Históricamente, el chocolate fue una bebida dedicada en ceremonias religiosas para ofrendar a los dioses prehispánicos pero, incluso a su llegada al Viejo Mundo, el chocolate aún fue considerado un alimento exclusivo para la nobleza. Actualmente el chocolate es el dulce más consumido en todo el mundo (Toker *et al.*, 2020).

¿Por qué nos gusta el chocolate? ¿Es bueno o malo para la salud? El chocolate amargo o chocolate negro es el que proporciona mayores beneficios a la salud; esto se debe al alto contenido de compuestos fitoquímicos, específicamente, de flavonoides que tienen efecto en la salud cardiovascular; incluso se ha analizado la respuesta que provoca sobre la función cognitiva y el estado anímico de las personas (Lamport *et al.*, 2020). El chocolate se consume indistintamente del tipo o el procesamiento con el que se elaboró; sin embargo, la calidad de los productos es cada vez más importante entre los consumidores (Toker *et al.*, 2020). En particular, el aroma es un indicador de la calidad sensorial del chocolate. Claro, la creencia popular es “si huele bien, sabe bien”. El aroma característico del chocolate es resultado de la combinación de factores genéticos del cacao, así como del procesamiento de las semillas del cacao (Hard, 2018).

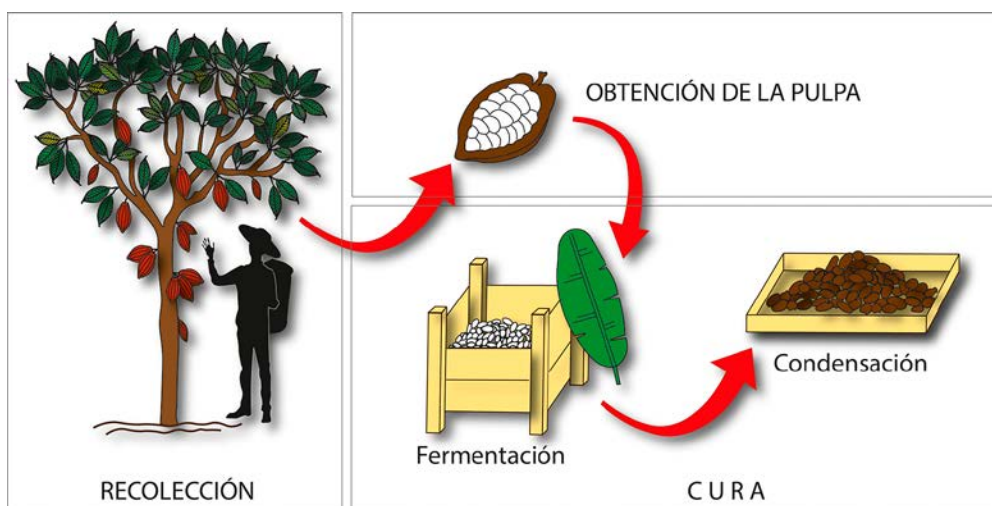


Figura 1. Proceso de recolección, obtención de pulpa y cura de los granos de cacao.

Existen tres principales variedades de cacao: forastera, criolla y trinitaria. La variedad criolla es la más fina, con mejor perfil de aromas y sabor; sin embargo, la planta es altamente susceptible a enfermedades y plagas y por lo tanto se cultiva menos a nivel mundial que las otras dos variedades. La identificación del tipo de cacao es el primer factor para conocer el aroma que tendrá un chocolate. El proceso de preparación de las semillas y la elaboración del chocolate son el segundo factor que influye en el desarrollo del aroma a chocolate. También las prácticas después de la cosecha influyen en la evolución del olor debido al procesamiento empleado (industrial, semiindustrial o tradicional) (Puerto *et al.*, 2016).

Por todo ello es importante conocer cómo se desarrolla el aroma característico del chocolate y los aspectos técnicos que interfieren en el proceso. En este trabajo se analiza la información sobre la generación y potencialización de los aromas durante el procesamiento de las semillas de cacao, y la elaboración del dulce para obtener el característico olor a chocolate.

EL PROCESAMIENTO DE LAS SEMILLAS

El aroma del chocolate se desarrolla principalmente en cuatro de las etapas de elaboración: la cura, el

secado, el tostado y la mezcla de granos. En tales etapas se realzan algunas sustancias químicas presentes en el cacao que son susceptibles a las condiciones ambientales; a estas sustancias se les conoce como compuestos volátiles, y son las que otorgan la característica fragancia a chocolate. El aroma del chocolate es una combinación de alrededor de 500 compuestos, entre los que se encuentran aldehídos, cetonas, ésteres, alcoholes, fenoles y pirazinas (Marsegia *et al.*, 2020).

La cura es un proceso que tiene como finalidad producir ciertas transformaciones en el cacao para protegerlo de microorganismos dañinos, con lo cual se evita que se altere su apariencia, olor, sabor y textura; al conjunto de estas características se le conoce como calidad sensorial.

La etapa de cura comprende dos fases: la fermentación y la condensación; en la fermentación, las semillas se modifican con la acción de bacterias benéficas que convierten el azúcar del cacao en alcohol etílico; esto ocasiona cambios en el aroma y variaciones leves en la tonalidad de los granos de cacao.

Después, mediante bacterias acéticas, se transforma el alcohol etílico en ácido acético. Este ácido impide la germinación de la planta y permite el desarrollo del cacaol, que es un aceite esencial que origina el aroma y el sabor a chocolate. Finalmente, la segunda parte de la cura se refiere a la condensación

Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Tipo de aroma	Descripción del tipo de aroma
120-130	60	Lácteos	Leche o mantequilla
		Flores y frutas	Flores blancas, frutos rojos o cítricos
150-160	45	Especiados	Café, vainilla, almendra, avellana o pimienta
		Tostados	Caramelo, miel, ahumado o madera

Tabla 1. Tipos de aromas desarrollados en el tostado de los granos de cacao.

de compuestos químicos, lo cual consolida el aroma y el sabor a chocolate (Campos-Vega *et al.*, 2018; Puerto *et al.*, 2016). Estas etapas se muestran en la Figura 1.

El secado es la acción previa a la manipulación y almacenaje de los granos de cacao; este proceso permite disminuir la cantidad de agua del grano de cacao hasta una humedad total de 6 o 7 %. Como resultado del decremento de agua del grano de cacao se resalta su fragancia, así como los aromas desarrollados durante la etapa de la cura.

Es importante que el secado sea lento y continuo para disminuir la sensación de sequedad en la boca que pueda causar el chocolate; a esta sensación se le conoce como astringencia (Saputro *et al.*, 2018).

Por otra parte, el tostado se puede realizar por diferentes métodos que brindan un aroma diferente. La temperatura ideal del tostado para obtener un chocolate común es de 150 o 160 °C durante un mínimo de 45 minutos; como resultado, se desarrollan aromas a madera y frutos secos asociados a la robustez y cuerpo en el chocolate.

Sin embargo, el tostado de los granos de cacao a 120 o 130 °C por 60 minutos conserva los aromas sutiles como los frutales, los florales y las notas ácidas (Hard, 2018; Marseglia *et al.*, 2020). Los tipos de aromas que puede adquirir el cacao después del tostado se presentan en la Tabla 1.

Después del tostado se desarrolla un conjunto de aromas denominado *bouquet* o, castellanizado, buqué. Para mejorar el buqué se realiza una última etapa, la mezcla de granos, de acuerdo con las variedades y el buqué obtenido del tostado. La combinación más común de variedades para mejorar

el aroma y sabor de la mezcla es entre granos de cacao criollo y forastero; esta composición realza sabores finos con cuerpo e intensidad. La intención de la mezcla de los granos de cacao es obtener equilibrio en intensidad y notas aromáticas (Bau *et al.*, 2015).

LA ELABORACIÓN DEL CHOCOLATE

El chocolate contiene esencialmente pasta de cacao, manteca de cacao y azúcar en diferentes proporciones; sin embargo, estos porcentajes varían de acuerdo al tipo de chocolate que se busca obtener: oscuro, de leche o blanco (Kord-Varkaneh *et al.*, 2019). La Tabla 2, muestra los elementos que pueden constituir cada tipo de chocolate.

La pasta de cacao pasa por un proceso de suavizado que puede durar tres días a una temperatura de 60 a 70 °C; a este proceso se le conoce como conchado. Al producto resultante del conchado se le adiciona azúcar, manteca de cacao y, opcionalmente, compuestos lácteos, especias, hierbas, frutos secos u otros ingredientes que modifican el aroma final del chocolate, integrando así el buqué sensorial. La adición de ingredientes a la pasta de cacao depende del fabricante (Hard, 2018; Toker *et al.*, 2020).

En la degustación del chocolate intervienen todos los sentidos para detectar los sutiles detalles del producto. En la inspección visual se busca un color uniforme y la ausencia de manchas en la superficie; la parte auditiva se basa en el crujido de las tabletas en la ruptura.

Tipo de chocolate	Ingrediente	%
Chocolate oscuro	Manteca de cacao	10–15 %
	Sólidos de cacao	60–70 %
	Azúcar	20–25 %
Chocolate de leche	Manteca de cacao	25–30 %
	Sólidos de cacao	40 %
	Leche en polvo	10 %
	Azúcar	20–25 %
Chocolate blanco	Manteca de cacao	25–30 %
	Leche en polvo	20–25 %
	Azúcar	50 %

Tabla 2. Composición de los tipos de chocolate.

En la parte táctil se evalúa la sedosidad del producto, así como su rigidez. Mientras que el aroma y el sabor son características que se asocian debido a que se buscan perfiles frutales, tostados, especiados, entre otros. Los consumidores buscan un chocolate que sea de alta calidad sensorial; esta calidad se asocia con el terruño del lugar de cultivo del cacao.

Así, las características estandarizadas de siembra, junto con las condiciones geográficas, permitieron el desarrollo de un cacao de gran calidad denominado Grand Cru. Los chocolates elaborados a partir del cacao Grand Cru pertenecen a la gama de productos con denominación de origen como los vinos y los quesos (Marseglia *et al.*, 2020).

Algunas de las marcas más importantes en la elaboración de chocolates cuentan con su propia cadena de obtención de materia prima, lo cual garantiza que sus productos tengan consistentemente las mismas características y calidad.

Es por estas razones que el chocolate de mayor calidad sensorial se elabora cuidando la interacción de los factores genéticos, ambientales, de procesamiento de cacao y elaboración del chocolate expuestos anteriormente.

La industria del chocolate enfrenta desafíos para aumentar la productividad, estabilizar costos y mantener la calidad. Una situación grave comprende la alteración en la formulación o ingredientes, así como de las condiciones de procesamiento, empaque o almacenamiento que cambian debido a intereses económicos. Por consiguiente, estos cambios pueden interferir en el aroma y sabor de los chocolates.

Otro problema es la creciente demanda en el consumo de chocolate que requiere de grandes cantidades de granos de cacao para su elaboración; esto causa un deterioro en los nutrientes del suelo que desencadena una serie de situaciones como erosión, deforestación o pérdida de la biodiversidad (Pérez *et al.*, 2022).

La producción de granos de cacao se concentra principalmente en África, América del Sur y Asia. Sin embargo, los principales productores de chocolates a nivel mundial se encuentran en América del Norte y Europa (Del Prete y Samoggia, 2020). En la Figura 2, se muestran los principales países productores de granos de cacao utilizados en la elaboración del chocolate.

CONCLUSIÓN

El aroma de un chocolate es debido a diversos factores, como el origen de la variedad de cacao, las condiciones ambientales de cultivo y el procesamiento para la obtención del producto final. Por lo tanto, el aroma de un chocolate se debe considerar como un conjunto de interacciones entre los factores antes mencionados que influyen en su calidad sensorial. El aroma y sabor resultantes del procesamiento del cacao son determinantes para describir la calidad de un chocolate; estos atributos son los responsables de que el chocolate sea uno de los dulces de mayor consumo en el mundo.

REFERENCIAS

Bau F, Bourdin V, Bridron T, Capy D, David F, Givre P, Haubourdin J, Runel J y Zizza-Lalu E-M (2015). *Enciclopedia del Chocolate* (2.ª ed.). Naturart.

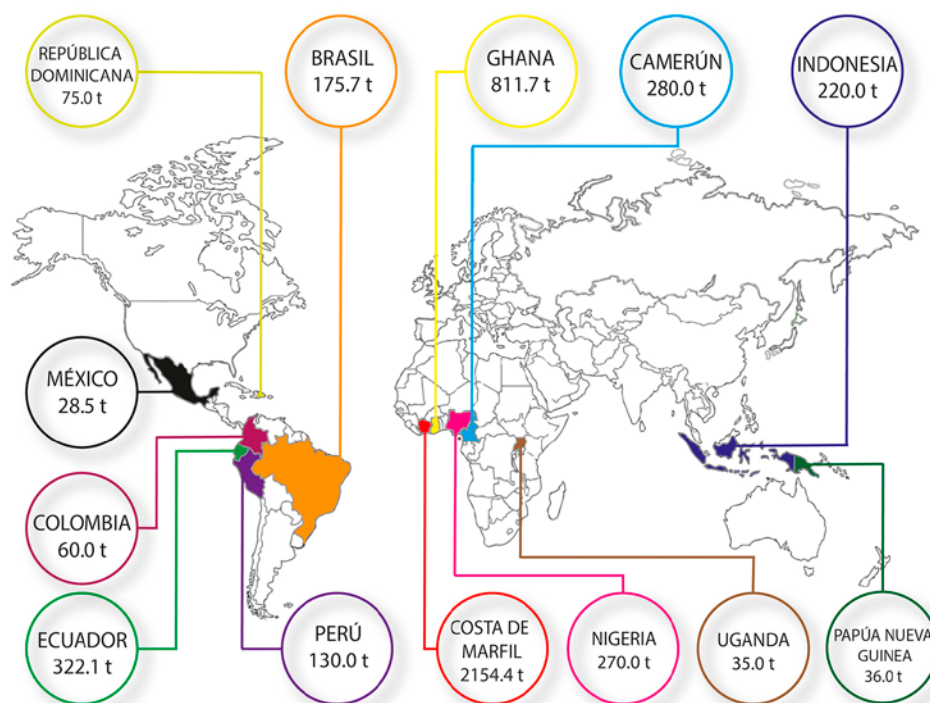


Figura 2. Países productores de granos de cacao en el periodo 2018/2019. Estimaciones de la producción expresada en toneladas (t) del 1 de octubre al 30 de septiembre. Datos obtenidos de CEDRSSA, 2020.

Campos-Vega, R, Nieto-Figueroa KH y Oomah BD (2018). Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology* 81:172-184. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.022>.

CEDRSSA (2020). *La producción y el comercio del cacao y principales derivados en México* (p. 20). Cámara de Diputados.

Del Prete M and Samoggia A (2020). Chocolate consumption and purchasing behaviour Review: research issues and insights for future research. *Sustainability* 12(14):5586. <https://doi.org/10.3390/su12145586>.

Hard K (2018). *Chocolate Alchemy: A bean to bar primer* (1.ª ed.). Rizzoli International Publications Inc.

Kord-Varkaneh H, Ghaedi E, Nazary-Vanani A, Mohammadi H and Shab-Bidar S (2019). Does cocoa/dark chocolate supplementation have favorable effect on body weight, body mass index and waist circumference? A systematic review, meta-analysis and dose-response of randomized clinical trials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59(15):2349-2362. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1451820>.

Lamport DJ, Christodoulou E and Achilleos C (2020). Beneficial effects of dark chocolate for episodic memory in healthy young adults: A parallel-groups acute intervention with a white chocolate control. *Nutrients*, 12(2), 483. <https://doi.org/10.3390/nu12020483>.

Marseglia A, Musci M, Rinaldi M, Palla G and Caligiani A (2020). Volatile fingerprint of unroasted and roasted cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) from different geographical origins. *Food Research International* 132:109101. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109101>.

Perez M, Lopez-Yerena A and Vallverdú-Queralt A (2022). Traceability, authenticity and sustainability of cocoa and chocolate products: A challenge for the chocolate industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 62(2):475-489. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1819769>.

Puerto, P P, Guerra S and Contreras D (2016). Changes in physical and chemical characteristics of fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans with manual and semi-mechanized transfer, between fermentation boxes. *Scientia Agropecuaria* 7(2):111-119.

Saputro AD, Van de Walle D, Hinnah M, Van Durme J and Dewettinck K (2018). Aroma profile and appearance of dark chocolate formulated with palm sugar-sucrose blends. *European Food Research and Technology* 244(7):1281-1292. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3043-2>.

Toker OS, Palabiyik I, Pirouzian HR, Aktar T and Konar N (2020). Chocolate aroma: Factors, importance and analysis. *Trends in Food Science & Technology* 99:580-592. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.035>.

Cristian J. Mendoza-Meneses
Ana A. Feregrino-Pérez
Claudia Gutiérrez-Antonio
Facultad de ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
feregrino.angge@hotmail.com



Arsénico en el agua potable en México

Abril **Munguía-Lara**
Lucero **Hernández Martínez**
Nadia **Martínez Villegas**

De los 88 elementos que de manera natural se localizan en la corteza terrestre, el arsénico ocupa el lugar 47 en abundancia (Plant *et al.*, 2004) y se halla naturalmente en más de 200 formas minerales asociado a metales como el oro (Au), la plata (Ag), el cobre (Cu), el hierro (Fe) y no metales como el azufre (S). Los minerales de arsénico más comunes son arsenopirita (FeAsS), realgar (As_2S_2), oropimente (As_2S_3), arsenolita (As_2O_3), mimetita ($\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{AsO}_4)_3$) y cobaltita (CoAsS).

El arsénico en el medio ambiente proviene de fuentes naturales o antropogénicas. Las primeras se asocian a procesos geológicos, como la meteorización de las rocas, las emisiones volcánicas y la actividad geotermal. Las segundas incluyen la minería, la metalurgia, la agricultura (debido al trióxido de arsénico en los pesticidas) y la industria maderera que utiliza conservantes de madera con arsénico, como el arseniato de cobre cromatado. Se estima que más del 99 % del arsénico presente en la geósfera, atmósfera, hidrósfera y biósfera de nuestro planeta se asocia con rocas y minerales. En la mayoría de las rocas, la concentración de arsénico varía entre 0.5 y 2.5 mg/kg (Smedley y Kinniburgh, 2002). En el suelo, el arsénico varía entre 0.1 y 40 mg/kg, por lo que se dice que se encuentra enriquecido en comparación con las rocas. En sedimentos, el nivel de arsénico es menor a los 10 mg/kg. En el aire, sus concentraciones varían entre

Capas de la Tierra	Matrices ambientales y tejidos biológicos	Concentración promedio de arsénico
Geósfera	Rocas ígneas	1.5 mg/Kg
	Rocas metamórficas	< 5 mg/Kg
	Rocas sedimentarias	5-10 mg/Kg
	Suelo	0.1 y 40 mg/kg
	Sedimentos	< 10 mg/Kg
Atmósfera	Aire	0.4 y 30 ng/m ³
Biósfera	Plantas	0.01 a 5 mg/kg
	Moluscos y crustáceos	0.005 y 0.3 mg/kg
	Animales domésticos y humanos	< 0.3 mg/kg
Hidrosfera	Ríos y lagos	0.0008 mg/L
	Agua de mar	0.0015 mg/L
	Agua subterránea	< 0.0005 y 5 mg/L

Tabla 1. Concentraciones de arsénico en diferentes matrices ambientales y tejidos biológicos.

0.4 y 30 ng/m³. Adicionalmente, se ha observado que también se encuentra en los tejidos vivos. En plantas, la concentración varía de 0.01 a 5 mg/kg, mientras que, en animales marinos como moluscos y crustáceos, varía entre 0.005 y 0.3 mg/kg.

En animales domésticos y humanos sus concentraciones son generalmente menores a 0.3 mg/kg, y se acumula principalmente en el cabello y las uñas (Mandal y Suzuki, 2002) (Tabla 1). La concentración de arsénico en ríos y lagos es de alrededor de 0.0008 mg/L y varía dependiendo de factores como la recarga superficial y subterránea, la introducción de residuos urbanos e industriales y la actividad minera. En el agua de mar, el valor medio es de aproximadamente 0.0015 mg/L, mientras que en el agua subterránea varía entre < 0.0005 y 5 mg/L.

En general, los niveles de As son mayores en el agua subterránea que en el agua superficial (lagos, ríos y mares), especialmente en áreas con depósitos de roca volcánica o de minerales ricos en As (Smedley y Kinniburgh, 2002).

Es posible registrar concentraciones elevadas en acuíferos con condiciones oxidantes, reductoras, con circulación geotermal, relacionados con depósitos minerales, formaciones volcánicas, volcano-sedimentarias, cuencas aluviales terciarias y cuaternarias e, incluso, ligadas a actividades antropogénicas. A nivel mundial, la mayor parte de los acuíferos con altas concentraciones de arsénico tienen origen en procesos geoquímicos naturales de disolución de minerales (principalmente óxidos de hierro) o desorción de arsénico en condiciones reductoras (Smedley y Kinniburgh, 2002).

TOXICIDAD Y EXPOSICIÓN A ARSÉNICO

El origen del arsénico no determina su toxicidad, pues esta se establece por la especie y el estado de oxidación del elemento, mismos que, a su vez, están controlados por el potencial redox (Eh) y el pH. La toxicidad de las especies de arsénico varía, en general, de acuerdo a la siguiente tendencia: compuestos inorgánicos trivalentes > compuestos orgánicos trivalentes > compuestos inorgánicos pentavalentes > compuestos orgánicos pentavalentes > arsénico elemental (Tabla 2). Por consiguiente, los compuestos inorgánicos (que no contienen carbono (C) en su estructura química) se consideran más tóxicos que los orgánicos (en los que el arsénico se combina con carbono (C) y oxígeno (O)).

En aguas superficiales con alto contenido de oxígeno (que genera, a su vez, condiciones oxidantes), el arsénico predomina en estado de oxidación +5 (o pentavalente), como ocurre en el ácido arsénico H₃AsO₄, que es la forma ácida del ion arseniato, AsO₄³⁻. En condiciones reductoras, generalmente en sedimentos de lagos o aguas subterráneas, predomina en estado de oxidación +3 (o trivalente), como ocurre en el ácido arsenioso de fórmula química H₃AsO₃, que es la forma ácida del ion arsenito AsO₃³⁻ (Alarcón *et al.*, 2014).

Nivel de toxicidad	Nombre del compuesto	Estado de oxidación	Fórmula química
	Arsina	-III	AsH ₃
	Ácido arsenioso	+III	H ₃ AsO ₃
	Ácido metilarсенioso	+III	MMA(III), CH ₃ As(OH) ₂
	Ácido arsénico	+V	H ₃ AsO ₄
	Ácido monometilarсенónico	+V	MMA(V), CH ₃ AsO(OH) ₂
	Arsénico elemental	0	As

Tabla 2. Compuestos orgánicos e inorgánicos de arsénico con diferentes estados de oxidación mostrando el nivel de toxicidad.

La exposición actual o reciente a arsénico en humanos se mide en la orina. Concentraciones de 20 µg/L se consideran normales, mientras que mayores a 200 µg/L se consideran exposiciones elevadas, y mayores a 500 µg/L se consideran tóxicas. La exposición a arsénico a largo plazo (meses o años), se mide en el cabello y las uñas, considerados los mejores indicadores a largo plazo (Suárez-Solá *et al.*, 2004).

Dependiendo de la concentración, la frecuencia (exposición aguda o crónica) y la ruta de exposición (inhalación, ingestión de agua contaminada con arsénico o absorción a través de la piel) se pueden presentar síntomas como entumecimiento y mareo, diarrea, dolor abdominal y vómito, o incluso la muerte. Entre los efectos causados por su ingesta se encuentran los que se presentan en la piel, como la hiperpigmentación (oscurecimiento de la piel por exceso del pigmento cutáneo llamado melanina), hipopigmentación (aclorado de la piel por deficiencia de melanina) e hiperqueratosis (engrosamiento de la capa externa de la piel que se caracteriza por la formación de callosidades). Se ha observado que estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y pueden ser precursores de cáncer de piel. Otros efectos incluyen alteraciones renales y hepáticas, diabetes y enfermedades pulmonares y cardiovasculares.

Los distintos tipos de cáncer que se originan por la exposición crónica de arsénico incluyen cáncer de piel, vejiga, pulmón y riñón (Alarcón *et al.*,

2014). La dosis máxima en la que no se observan efectos adversos equivale a 0.08 x 10⁻² (mg/kg)/día, mientras que la dosis mínima en la que ya se muestran efectos adversos es 1.4 x 10⁻² (mg/kg)/día (EPA, 1996).

El arsénico representa una amenaza importante para la salud pública, sobre todo cuando se encuentra en aguas usadas como fuente de agua potable. Por es tal motivo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido un valor guía recomendable de arsénico en agua potable de 10 µg/L (WHO, 2017). Este valor sirve de base para que cada país establezca su propia normativa del límite máximo permisible en función de las tecnologías o técnicas de remediación asequibles y sus fuentes de agua potable alternativas.

NORMATIVIDAD MEXICANA

En México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 que indica los límites permisibles de distintos contaminantes orgánicos e inorgánicos en el agua potable, entre los que se encuentra el arsénico. En 1994 esta norma establecía un límite máximo permisible de 50 µg/L. En el año 2000 fue modificada para reducir el nivel de arsénico en el agua para uso y consumo humano a 25 µg/L en un período de 5 años. Recientemente (el 5 de mayo de 2022), el Diario Oficial de la Federación (DOF) publicó una

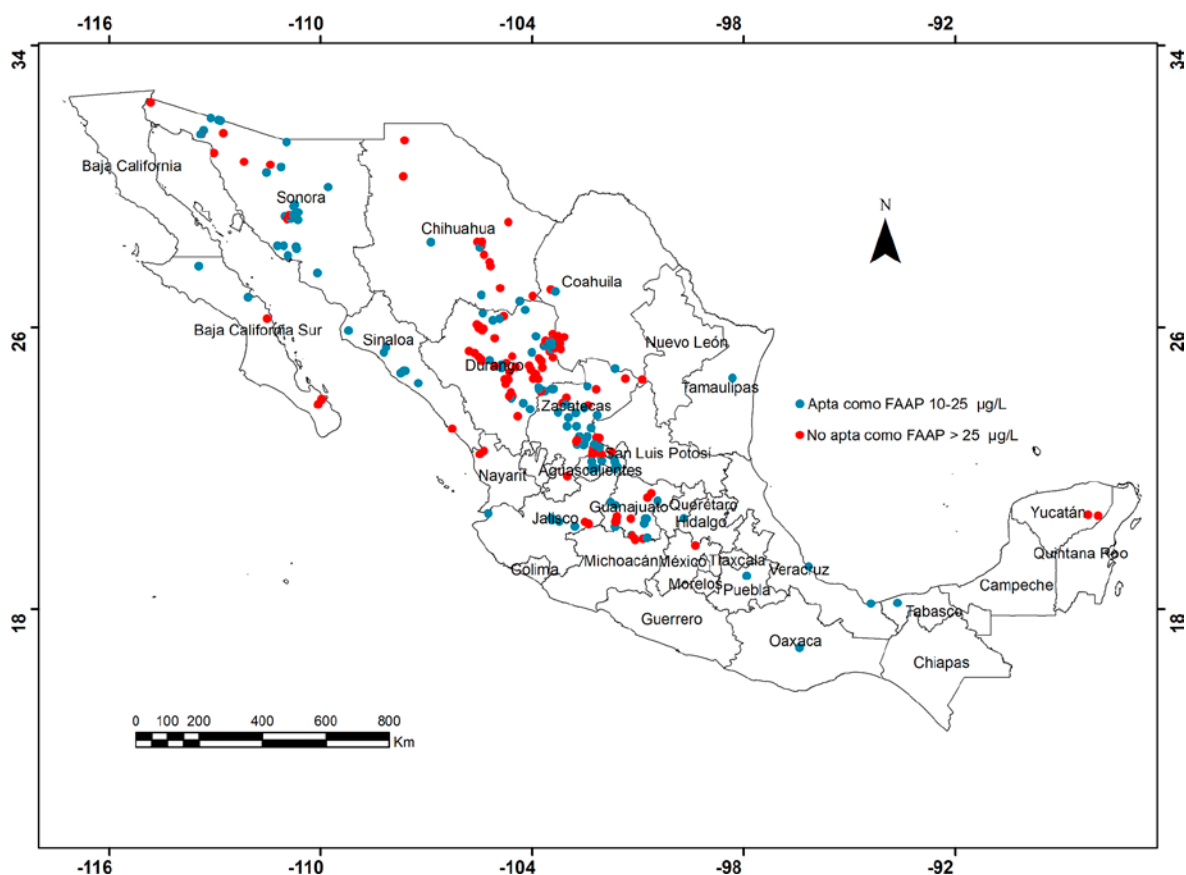


Figura 1. Fuentes de abastecimiento de agua potable en México aptas (con concentraciones de arsénico en agua potable entre 10 y 25 $\mu\text{g/L}$ (azul)) y no aptas ($> 25 \mu\text{g/L}$ (rojo)).

actualización de la NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua” que entrará en vigor en mayo de 2023. Esta nueva actualización especifica un límite de $25 \mu\text{g/L}$ que deberá disminuir gradualmente a $10 \mu\text{g/L}$ en 2024 para aquellas localidades con una población mayor a 500,000 habitantes, en 2026 para poblaciones entre 50,000 y 499,000 habitantes y en 2029 para localidades con una población menor a 50,000 habitantes. Esta nueva norma entrará en vigor en mayo de 2023 y dejará sin efectos a la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 del año 2000.

EL ARSÉNICO EN MÉXICO

Actualmente, en México, 1.5 millones de personas consumen agua con concentraciones de arsénico

por encima de los $25 \mu\text{g/L}$, y cerca de 150,000 personas están expuestas a concentraciones más altas, de entre 75 y $350 \mu\text{g/L}$ (Alfaro de la Torre *et al.*, 2021).

Por ello, desde 2012, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) monitorea la concentración de arsénico y otros elementos en los cuerpos de agua más importantes del país a través de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad de Aguas Nacionales (RENAMECA) que, en 2020, contaba con 5,034 sitios de monitoreo de la calidad del agua en todo el país, de los cuales 1,068 monitoreaban y reportaban concentraciones de arsénico (y otros elementos) en agua subterránea. De acuerdo con estos resultados, el 76.4 % de los sitios (816) proveía agua subterránea potable de excelente calidad al presentar concentraciones totales de arsénico por debajo de los $10 \mu\text{g/L}$. El 11.7 % (125) producía agua apta como fuente de abastecimiento de agua potable al presentar concentraciones totales de arsénico entre 10 y $25 \mu\text{g/L}$ y el 11.9 % (127) agua no apta como fuente

de abastecimiento de agua potable por presentar concentraciones de arsénico total por encima de los 25 µg/L (Figura 1).

Los resultados de la RENAMECA confirman que los estados con concentraciones de arsénico por encima de los 25 µg/L son Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Sinaloa, Nayarit, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco, Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Michoacán y Yucatán.

Un monitoreo más amplio, de 3,951 sitios muestreados entre enero y diciembre del 2017 a lo largo de todo el país, mostró que el 83.8 % de los sitios (3,312) presentaba concentraciones de arsénico por debajo de los 10 µg/L, mientras que el 16.2 % (639) mostraba concentraciones por encima de dicho valor. De los sitios con concentración por encima de los 10 µg/L, el 51 % (326) correspondía a agua subterránea, el 28 % (179 sitios) a ríos y el 21 % (134 sitios) a cuerpos de agua superficial (Alarcón-Herrera *et al.*, 2020).

Adicionalmente, se estima que en México hay 8.8 millones de personas expuestas a arsénico por encima del límite de 10 µg/L y se esperan 13,070 nuevos casos de cáncer en los estados áridos del centro y norte de México, donde se presentan las concentraciones más elevadas (Alarcón-Herrera, *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

La concentración elevada de arsénico en aguas superficiales y subterráneas de México alerta sobre posibles afectaciones a la salud en el caso de consumo de agua contaminada. Con la finalidad de prevenirlas y reducir el riesgo es indispensable diseñar estrategias que garanticen la provisión de agua con concentraciones menores a 10 µg/L, apta para consumo humano.

Adicionalmente, es indispensable realizar campañas de sensibilización entre comunidades y poblaciones expuestas a arsénico para coadyuvar a disminuir el riesgo a la salud derivado de la ingesta directa de agua potable contaminada con arsénico y el consumo de alimentos regados o cocinados con agua contaminada.

REFERENCIAS

- Alarcón M, Leal L, Martín I, Miranda S y Benavides A (2014). *Arsénico en Agua: Presencia, cuantificación analítica y mitigación*. Centro de Investigación en Materiales Avanzados.
- Alarcón-Herrera MT, Martín-Alarcon DA, Gutiérrez M, Reynoso-Cuevas L, Martín-Domínguez A, Olmos-Márquez MA and Bundschuh J (2020). Co-occurrence, possible origin, and health-risk assessment of arsenic and fluoride in drinking water sources in Mexico: Geographical data visualization. *Science of The Total Environment* 698:134168. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134168>.
- Alfaro de la Torre MC, Ortiz-Perez MD, Alarcón MT, Martínez-Cruz DA y Ledón JM (2021). Concentraciones de Arsénico y Fluoruro en Agua Subterránea. En Del Razo LM, Ledón JM, Velasco MN (Eds.), *Hacia el cumplimiento del Derecho Humano al Agua: Vol. 1. Arsénico y fluoruro en agua: Riesgos y perspectivas desde la sociedad civil y la academia en México* (pp. 38-56). UNAM-Instituto de Geofísica, Ciudad de México.
- EPA (1996). Proposed guidelines for carcinogen risk assessment. *Federal Register* 61(79):17960-8011.
- Mandal BK and Suzuki KT (2002). Arsenic round the world: A review. *Talanta* 58(1):201-235.
- Plant J, Kinniburgh DG, Smedley PL, Fordyce FM and Klinck BA (2004). Arsenic and Selenium. En Lollar BS (Ed.), *Treatise on Geochemistry* (pp. 17-66). San Diego, CA, EE. UU.: Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/09047-2>.
- Smedley PL and Kinniburgh DG (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry* 17(5):517-568. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5).
- Suárez Solá ML, González-Delgado FJ, González Weller D, Rubio Armendáriz C y Hardisson de la Torre A (2004). Análisis, diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones arsenicales. *Cuadernos de medicina forense* 35:05-14.
- WHO (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (4a ed.). World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>.

IPICYT

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica
División de Geociencias Aplicadas
San Luis Potosí

Abril Munguía-Lara

abril.munguia@ipicyt.edu.mx

Jeanny Lucero Hernández Martínez

jeanny.hernandez@ipicyt.edu.mx

Nadia Valentina Martínez Villegas

nadia.martinez@ipicyt.edu.mx



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.

Amos de la noche: la polinización por murciélagos

Xiumy M. **Sánchez Collazo**
Dulce M. **Figueroa Castro**

Los murciélagos se encuentran entre los animales más incomprendidos, se les teme y persigue, se les concibe como “malos” o “malignos” y se han asociado con ideas o mitologías de vampiros. Además, se les considera perjudiciales, portadores de enfermedades como la rabia, la histoplasmosis y, más recientemente, han sido señalados como el origen potencial de la pandemia generada por el virus COVID-19. Estas ideas han ocasionado que las poblaciones de murciélagos estén en riesgo y que sean uno de los grupos de mamíferos más amenazados, a tal grado que más del 80 % de las especies en el mundo requieren atención para su conservación. En Latinoamérica, 76 de las 380 especies de murciélagos se encuentran en alguna categoría de amenaza (UICN, 2019), causada principalmente por la pérdida de sus refugios y cuevas de descanso, la modificación de territorios y la pérdida de hábitat por la deforestación y antropización, así como por el uso de pesticidas y herbicidas que disminuyen la disponibilidad de sus recursos alimenticios. Un factor central que afecta a los murciélagos es la “cacería” que practican los humanos, motivada por la desinformación y los prejuicios (Kunz *et al.*, 2011).

Sin embargo, y a diferencia de todas las creencias que se tienen acerca de ellos, los murciélagos juegan un importante papel en los ecosistemas que habitan, debido

a la diversidad de hábitos alimenticios que poseen. Entre los murciélagos, el 75 % de las especies son insectívoras y se alimentan de mariposas, escarabajos, pulgones, chinches, arañas y dípteros (Kunz *et al.*, 2011). En general, los murciélagos insectívoros pueden consumir del 25 al 70 % de su peso en insectos por noche (Kasso y Blakrishnan, 2013). Por ejemplo, una sola colonia del murciélago crepuscular-americano (*Nycticeius humeralis*) puede consumir 6.3 millones de insectos por año (Whitaker y Clem, 1992). Por lo anterior, se les considera excelentes controladores de las poblaciones de artrópodos, incluyendo especies de importancia médica como los mosquitos, y de importancia agrícola como escarabajos, gorgojos y chinches que afectan significativamente a los cultivos (Kasso y Blakrishnan, 2013).

Por otra parte, los murciélagos que se alimentan de frutos son excelentes dispersores de semillas en los hábitats tropicales y subtropicales del mundo. Entre el 50 y el 90 % de las especies vegetales tropicales presentan frutos carnosos adaptados al consumo de vertebrados, en su mayoría murciélagos. En comparación con otros vertebrados dispersores de semillas, los murciélagos pueden recorrer grandes distancias (1-2 km; y en casos extremos, hasta 90 km) y al defecar durante el vuelo, dispersan las semillas en áreas lejanas logrando colonizar nuevos espacios. Por lo tanto, las especies frugívoras facilitan la regeneración de los bosques tropicales y ayudan a mantener la diversidad de especies en los ecosistemas donde habitan.

Otro papel que juegan los murciélagos es como polinizadores. Aunque la polinización por murciélagos es relativamente poco común en comparación con la realizada por insectos y colibríes, involucra un número impresionante de plantas económica y ecológicamente importantes.

LA POLINIZACIÓN POR MURCIÉLAGOS

La polinización es el proceso por el cual se transfiere polen de la antera de una flor al estigma de

la misma (fenómeno conocido como autopolinización), u otra flor (también conocida como polinización cruzada). La polinización cruzada debe su éxito al establecimiento de relaciones mutualistas entre las plantas y los animales. El 90 % de las angiospermas dependen de los animales para su polinización y reproducción.

En cuanto a la polinización por murciélagos, en el mundo existen aproximadamente 528 especies, pertenecientes a 159 géneros y 50 familias vegetales, que son exitosamente polinizadas por murciélagos nectarívoros. Esto equivale a alrededor del 4 % de las especies vegetales presentes en los bosques tropicales (Fleming *et al.*, 2009).

Las especies vegetales polinizadas por murciélagos tienen flores con características morfológicas particulares para atraerlos. En conjunto, a dichas características se les conoce como el síndrome de quiropterofilia. Las flores quiropterofilicas son de gran tamaño en comparación con las de especies visitadas por otros grupos de organismos; son robustas, con la corola engrosada, se encuentran separadas del follaje; suelen ser de color blanco, verde o amarillo pálido y algunas presentan tintes rosados; abren durante la noche o en el crepúsculo, coincidiendo con el periodo de actividad de los murciélagos.

En general, las flores solo duran abiertas un día, evitando así su consumo por florívoros y robadores de néctar. El periodo de floración de las especies polinizadas por murciélagos suele ser largo, desde unas cuantas semanas hasta meses, lo que las beneficia al garantizar las visitas de los murciélagos que tienen una excelente memoria espacial. Además, las flores polinizadas por murciélagos ofrecen néctar y polen como recompensas. Estas flores producen grandes volúmenes de néctar, se han registrado hasta 20 ml por flor por noche; el néctar es diluido, con una concentración de azúcar de 3 a 33 %, lo que provee de energía a los murciélagos. El polen suele ser de gran tamaño (hasta 72 μ m), muy ornamentado, con un alto contenido proteico, lo cual es importante para la alimentación de los murciélagos en los periodos reproductivos (Willmer, 2011).

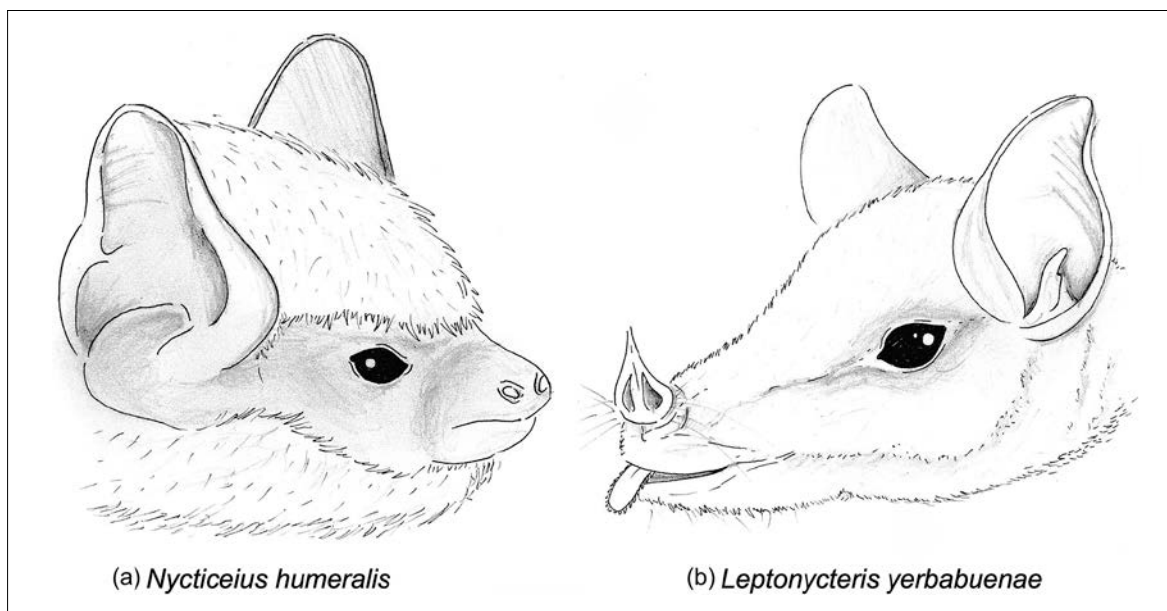


Figura 1. Características del rostro de murciélagos con distintos hábitos alimenticios. (a) Murciélago insectívoro con hocico achatado y pequeño, y orejas grandes para una mejor detección de los insectos por ecolocalización. (b) Murciélago nectarívoro con rostro alargado para acceder al tubo floral y escamas en la lengua para la captación del néctar.

Sin embargo, no solo las plantas han desarrollado características morfológicas que permiten beneficiarse de los murciélagos, también ellos han desarrollado características que les permiten una mejor obtención de la recompensa floral. Existen dos grandes grupos de murciélagos en el mundo, los microquirópteros o murciélagos del Nuevo Mundo, y los megaquirópteros o del Viejo Mundo (Fleming *et al.*, 2009).

Dentro de los microquirópteros, la subfamilia Glossophaginae, perteneciente a la familia Phyllostomidae, comprende 42 especies de murciélagos que se alimentan de néctar. Entre los megaquirópteros, la subfamilia Pteropodinae, perteneciente a la familia Pteropodidae, incluye a especies de murciélagos que se alimentan de néctar y frutos (Willmer, 2011).

Los murciélagos polinizadores son nocturnos, endotérmicos y de vida larga, pueden moverse grandes distancias en función de sus recursos alimenticios (hasta 90 km). Presentan cabezas y hocicos largos y delgados que les permiten acceder fácilmente a las flores de las que se alimentan, así como lenguas de gran longitud (entre el 60 y el 95 % de su longitud corporal) que terminan en forma de cepillo o con escamas que les permiten consumir eficientemente el néctar por capilaridad. El pelaje de los murciélagos

nectarívoros es tan denso como el de las abejas y abejorros y permite la adhesión y el transporte de grandes cantidades de polen por flor (Willmer, 2011). Se han cuantificado hasta 20,000 granos de polen sobre el cuerpo de los murciélagos.

En cuanto al sentido de la vista, por mucho tiempo prevaleció el mito de que los murciélagos tienen pésima visión o incluso carecen de este sentido; sin embargo, esto no es cierto. Los megaquirópteros tienen ojos grandes y una buena visión, capaz de detectar contrastes de colores entre las flores y el follaje, así como los contornos de la forma floral. Estas capacidades visuales compensan su baja capacidad de navegación, ya que los megaquirópteros carecen de ecolocalización (*i.e.*, utilización de ondas sonoras y ecos para ubicar objetos en el espacio).

Por su parte, los microquirópteros, además de poseer una buena visión, también tienen la capacidad de ecolocalizar para detectar sus recursos alimenticios. Un ejemplo del uso de la ecolocalización de los microquirópteros para encontrar los recursos florales de los que se alimentan es la interacción entre los murciélagos y la especie

vegetal *Marcgravia evenia*, la cual ha desarrollado una hoja en forma de cuenco justo encima de las inflorescencias para atraer a los murciélagos. Dicha hoja crea un eco de sonido distintivo para los murciélagos que les indica si hay alimento disponible dentro de las flores. Con estas señales, el murciélago logra detectar las flores en 12 segundos, aproximadamente la mitad del tiempo que le toma detectar otras fuentes de alimento (Simon *et al.*, 2011).

MURCIÉLAGOS POLINIZADORES EN MÉXICO

En México existen 12 especies de murciélagos nectarívoros con una gran importancia como visitantes florales y polinizadores de especies vegetales que se encuentran en ambientes tropicales y extratropicales. Los murciélagos polinizadores son particularmente importantes en los ecosistemas áridos, mismos que ocupan el 66 % del territorio nacional y donde más del 40 % de las cactáceas columnares y todas las especies de agaves son visitadas y polinizadas exitosamente por murciélagos nectarívoros (Eguiarte *et al.*, 2000; Barba-Montoya, 2012). Cactáceas y agaves son componentes importantes en estos ecosistemas, ya que son utilizados como lugares de percha, de descanso y reproducción, y son el alimento de distintos grupos de organismos.

Varias de las especies vegetales polinizadas por murciélagos son aprovechadas de distintas maneras por los seres humanos. Por ejemplo, el agave azul (*Agave tequilana*) es la especie de agave mayormente utilizada para la producción de tequila. La polinización de este agave es realizada por los murciélagos nectarívoros *Choeronycteris mexicana*, *Leptonycteris nivalis* y, de manera más estrecha, *Leptonycteris yerbabuenae*. Esta relación murciélago-agave azul es un ejemplo exitoso de protección y aprovechamiento sustentable.

Anteriormente, el cultivo completo de agave era cortado antes de la floración, lo que impedía la polinización cruzada. Esto ocasionó una marcada disminución en la variabilidad genética del agave,



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.

volviéndolo susceptible a enfermedades causadas por hongos; además de que causó que las poblaciones de murciélagos disminuyeran. A partir del año 2000 se hizo un aprovechamiento distinto de esta especie vegetal, dejando el 5 % de las plantas de los cultivos de agave en floración para ser visitadas por los murciélagos.

Esto permitió que el agave recuperara su variabilidad genética y disminuyeran las infecciones por hongos, al mismo tiempo que se recuperaron las poblaciones de *Leptonycteris yerbabuenae*, convirtiéndose en la primera especie de mamífero en México que salió de una categoría de riesgo en 2013 (Trejo-Salazar *et al.*, 2016).

La polinización por murciélagos es esencial para la obtención de otros productos de consumo humano derivados de distintas especies de agaves, como el pulque y el mezcal. Así mismo, distintos frutos como las tunas, pitayas, pitahayas, mango, plátano y guayaba, y especies de uso medicinal y de ornato como el cazahuate (*Ipomoea arborescens*) y el cabello de ángel (*Pseudobombax* sp.) son polinizados por murciélagos.

Todas estas evidencias ponen de manifiesto que los murciélagos nectarívoros cumplen un papel fundamental en los ecosistemas. En nuestro país, son polinizadores específicos de numerosas especies vegetales de los ecosistemas áridos y semiáridos. De su interacción con las plantas obtenemos beneficios, no solo el mantenimiento y restauración de los hábitats donde se encuentran, sino también beneficios económicos a través de productos generados gracias a la polinización por murciélagos.

Conocer más acerca del papel de los murciélagos en los ecosistemas ayudará a contrarrestar los prejuicios que existen alrededor de ellos, lo que a su vez ayudará a evitar su eliminación de los

ecosistemas donde habitan y podría favorecer el desarrollo de estrategias de protección para ellos y todos los organismos con los cuales interactúan. Es cierto que aún existe mucho camino por recorrer, pero el conocimiento y la comunicación de esta información es el primer paso para mantener las poblaciones de murciélagos en nuestro país.

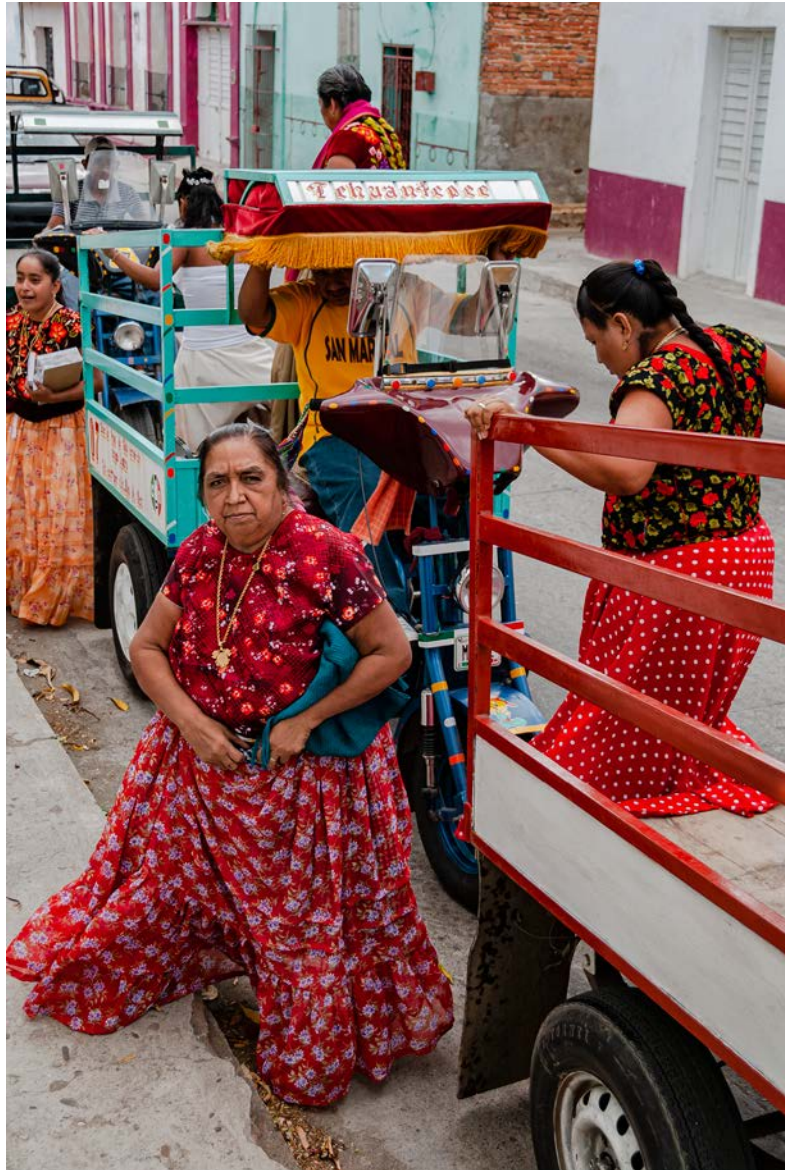
REFERENCIAS

- Barba-Montoya JA (2012). *Diversificación de Pachycereeae (Cactaceae, Caryophyllales, Eudicotyledoneae) en relación al síndrome de polinización*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México.
- Eguiarte LE, Souza V y Silva-Montellano A (2000). Evolución de la familia Agavaceae: filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. *Botanical Sciences* 66:131-150.
- Fleming T, Geiselman C and Kress WJ (2009). The evolution of bat pollination: a phylogenetic perspective. *Annals of Botany* 104:1017-1043.
- Kasso M and Balakrishnan M (2013). Ecological and Economic Importance of Bats (Order Chiroptera). *Hindawi Publishing Corporation* 2013:1-9.
- Kunz TH, Braun de Torrez E, Bauer D, Lobova T and Fleming TH (2011). Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223:1-38.
- Simon R, Holderied MW, Koch CU and von Helversen O (2011). Floral acoustics: conspicuous echoes of a dish-shaped leaf attract bat pollinators. *Science* 333:631-633.
- Trejo-Salazar RE, Eguiarte LE, Suro-Piñera D and Medellín RA (2016). Save Our Bats, Save Our Tequila: Industry and Science Join Forces to Help Bats and Agaves. *Source: Natural Areas Journal* 36:523-530.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2019). Lista Roja de Especies Amenazadas. Recuperado de www.iucnredlist.org.
- Whitaker JO and Clem P (1992). Food of the evening bat *Nycticeius humeralis* from Indiana. *The American Midland Naturalist* 127:211-217.
- Willmer P (2011). *Pollination and floral ecology*. Princeton University Press, Nueva Jersey.

Xiumy M. Sánchez Collazo
Maestría en Ciencias Biológicas
Dulce M. Figueroa Castro
Laboratorio de Interacciones Ecológicas
Facultad de Ciencias Biológicas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
figgery@gmail.com

© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.





© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.

La felicidad viaja en motocarro

Enrique **Soto**

En el año 2007 descubrí Tehuantepec. Íbamos a la costa de Oaxaca y decidimos que rumbo a Huatulco nos convenía tomar la carretera Oaxaca-Tehuantepec-Huatulco, y aprovechar la ruta para detenernos un par de días en Tehuantepec, para conocer el insigne Juchitán y, de ser posible, hacer un paseo por Santa María del mar. Había estado en Tehuantepec de pasada, en un viaje con Julio y el Champi cuando era estudiante de preparatoria en el IDCA, pero simplemente pasamos por Tehuantepec sin detenernos, aunque sí me quedó una huella clara de una bella arcada y mujeres de faldas largas.

Luego, la obra de Graciela Iturbide, su conocidísima foto “Nuestra Señora de las Iguanas” (alrededor de 1979) que retrata a la señora Sobeida Díaz, juchiteca, y muchas otras que recoge entre otros en el libro “Juchitán de las mujeres” despertaron mi curiosidad e interés de viajar a Tehuantepec, que no es un sitio propiamente “turístico”. Lamentablemente, encontré que en lugar del viejo mercado se ha levantado una estructura en pleno zócalo de Tehuantepec, esencialmente un cubo de ladrillo, que es el nuevo mercado municipal “Jesús Carranza”, arquitectónicamente execrable y que daña gravemente la zona en la que existen aún buen número de casas tradicionales de teja. Por suerte, quedan algunas arcadas remanentes del viejo mercado en una de las calles adyacentes al cubo típico de la arquitectura gubernamental mexicana.



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.

Caminando alrededor del mercado llamó mi atención la marea de motocarros: uno tras otro, salen de todos lados, llevando aquí y allá mercancías, personas, adultos, niños, familias y sobre todo istmeñas felices o con la apariencia de serlo. Ya había tenido oportunidad de estar en algunos pueblos en que se usan este tipo de transportes, particularmente en Guatemala, en Atitlán, los *tuc-tucs* –onomatopeya del ruido de su motor, lo que les da su nombre– constituyen el principal medio de transporte. Y son atractivos no solamente por su sonido y profusión, sino por sus adornos.

En Tehuantepec, los motocarros andan por todos lados; son más simples que los *tuc-tucs*, ya que la carrocería parece de fabricación local en la que se ha unido la parte anterior de una motocicleta a una estructura metálica fuerte, con eje, dos ruedas y piso usualmente de madera. Un ingenio local que ofrece transporte rápido, barato, aparentemente seguro y que se encuentra tanto en Tehuantepec como en Juchitán y los poblados vecinos. Entre todo, montadas en los motocarros, sobresale la apariencia peculiar de las istmeñas, algunas de ellas enormes si se las compara con otros pobladores de Oaxaca; también son poseedoras de un carácter fuerte y decidido. Muchas sonrientes, felices, con la cara al viento sobresaliendo en la parte posterior del motocarro.

Sacar la cámara y tomar fotos por todo el pueblo ha sido una experiencia gozosa, sin ninguna controversia, como puede suceder cuando se retrata a desconocidos de forma que, además de intrusiva, algunas veces puede ser hasta abusiva. Tomar fotos por todos lados, de todo y de todos.

Esa fue la decisión. Mi compañera, Rosario, cuidándome, algunas veces hasta sosteniéndome del cinturón para que pudiera retratar en las calles con la mirada metida en el visor de la cámara, y retratando a media calle. Tuve la fortuna de encontrarme con diversos acontecimientos: pude fotografiar una boda, las familias arribando a la iglesia de San Blas Obispo en los motocarros.

Las mujeres con los vestidos tradicionales, con los collares y adornos de filigrana en oro y los vestidos de flores. Pude participar en una fiesta de 15 años donde finalmente terminamos en una mesa bebiendo y platicando con los anfitriones. Igualmente, en el barrio de Santa María, fuimos invitados a una fiesta callejera a bailar y beber. De ahí proviene la foto de la portada de este *Elementos*. ¡Qué diferente la diversión, el baile y el jaleo, de lo que puede uno ver en los eventos de folklorismo organizados por el gobierno de Oaxaca, en la Guelaguetza!

Imagino la experiencia magnífica de Graciela Iturbide, que en los años setenta e inicios de los ochenta pasó semanas retratando en esta región del istmo. Un mundo mucho menos violento y sin tantos automóviles, quizá sin motocarros. He podido volver a Tehuantepec al menos cinco veces con el objeto de complementar un ensayo fotográfico que documenta parte de la vida alrededor del mercado y, particularmente, he retratado este medio de transporte peculiar que son los motocarros. Comparto en este *Elementos* una pequeña parte de las casi cinco mil fotografías que pretenden documentar un momento de la vida de este pueblo istmeño tan singular y que, esencialmente por su gente, merece ser distinguido y apreciado, y cuya cultura ojalá logre preservarse en este devastador mundo contemporáneo.

Iturbide G y Poniatowska E. *Juchitán de las mujeres*. 2ª Ed. 1991, Ediciones Toledo, México D. F.

Valdivieso Parada G. *Nuestra Señora de la Iguanas*. Corta Mortaja, 7 de enero de 2016. Consultado en: <https://cortamortaja.com.mx/arte-cultura-istmo/articulos/1017-nuestra-senora-de-las-iguanas>, el día 18 de noviembre de 2022.



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007 (izquierda).
Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007 (derecha).



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2013.

Nanomateriales y su aplicación en la retención de fluoruros en sistemas acuosos

María de Jesús **Jiménez Ángeles**
Rubén **Ruíz Ramos**
Sandra **Loera-Serna**

El flúor es un elemento químico perteneciente a la familia de los halógenos, es el elemento más electronegativo y reactivo, que es capaz de reaccionar con facilidad, incluso a temperatura ambiente, con muchos otros elementales, entre los cuales están el yodo, el azufre, el bromo, el fósforo y la mayor parte de los metales. Para los humanos, la exposición al flúor ocurre principalmente cuando este se encuentra en su estado de ion fluoruro (F^-), que está presente en agua, alimentos y productos dentales. El F^- suele tener implicaciones tanto benéficas como perjudiciales para la salud, por lo que existe un rango estrecho en la ingesta asociada con dichas implicaciones, entre las cuales se destaca el efecto negativo sobre los huesos (llamado fluorosis esquelética), una discapacidad invalidante que causa cambios en la estructura, o sea, que debilita los huesos; este padecimiento afecta a millones de personas en varias regiones de África, India, China y México.

La fluorosis dental (cambio en la superficie esmaltada de los dientes como picaduras o manchas marrones) es otra consecuencia del consumo desmedido de fluoruro. El exceso en el consumo de fluoruro también suele ser perjudicial para el funcionamiento normal del hígado y los riñones.

Actualmente se considera como principal factor causal de fluorosis esquelético-endémica en los humanos a la ingesta de agua y alimentos que contienen fluoruro.

La vía digestiva es la principal forma de incorporación del fluoruro a nuestro organismo; de él, solo el 90 % se absorbe en el estómago; en los adultos, aproximadamente el 10 % se deposita en los huesos, mientras que en los niños se fija hasta un 50 % (CDS General, 2015).

Es necesario puntualizar el hecho de que, en 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) formuló 17 objetivos para el desarrollo sostenible, entre los cuales se encuentra “garantizar la disponibilidad de agua y el saneamiento para todos”; también estableció como meta a alcanzar para el año 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación. Así, se establece como una prioridad mundial reducir la concentración de F^- , dados los efectos negativos que genera su exposición en la salud poblacional.

PRESENCIA DE FLUORURO EN MÉXICO

En numerosos países se ha documentado la presencia de altas concentraciones de fluoruro en el agua potable obtenida de fuentes subterráneas. Esto sucede cuando el agua, al atravesar por percolación los distintos estratos que componen los suelos, disuelve diversos elementos y compuestos como el flúor. (Ortega-Guerrero 2009).

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) determinó en el 2018 que, del total de aguas subterráneas de distintos pozos, el 44.7 % presenta incumplimiento en los parámetros de fluoruros aceptados (el límite de fluoruro es de 1.5 mg/litro, de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2000). En algunos estados las concentraciones de fluoruro están por encima del valor permitido; por ejemplo, las aguas subterráneas de la cuenca de San Luis Potosí, Aguascalientes, Querétaro, Zacatecas, Guanajuato, Chihuahua, Coahuila, Durango, y Tamaulipas (Figura 1), debido a la gran cantidad de rocas volcánicas que interactúan de



Figura 1. Estados de la República Mexicana que presentan contaminación de fluoruro, por encima del valor permitido, de acuerdo con la CONAGUA.

Adsorbente sintetizado	Cantidad adsorbida de F ⁻	Condiciones experimentales	Referencias
(ALCS-Fe-Al) lodo carbonizado de lixiviación ácida, óxido de Fe-Al	30.49 mg/g	pH 4-9, temperatura: 25°C	(Jing, Hui <i>et al.</i> 2020)
Nanocompuesto de β -ciclodextrina injertado con TiO ₂	48.78 mg/g	pH = 5; temperatura: 25°C	(Fallah, Isfahani <i>et al.</i> 2020)
Nanotubos de carbono estabilizados en esponja de quitosano	975 mg/g	pH = 3, temperatura: 25°C	(Fallah, Isfahani <i>et al.</i> 2020)
Óxido ternario hueco jerárquico de Mn-Mg-Al	63.05 mg/g	Ph = 7, temperatura: 25°C	(Wang <i>et al.</i> 2020)
Schwertmannita, preparada a partir de la oxidación de Fe (II) por KMnO ₄	49.8 mg/g	pH = 4, temperatura: 20°C	(Zhu <i>et al.</i> 2020)

Tabla 1. Nanomateriales empleados en la remoción de (F⁻) en años recientes.

Esta tabla muestra algunos de los materiales que se han empleado, así como diversos parámetros para la eliminación de fluoruro.

manera natural con el agua subterránea (CONAGUA). Adicionalmente, en la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SSA2-2006 se estipulan recomendaciones sobre las pastas dentales:

[...] las que contengan 551 a 1500 ppm de fluoruro deben ser utilizadas en personas mayores de 6 años. En personas menores de esta edad, podrán emplear como máximo 5 mm³ (CDS General, 2015).

Considerando lo anterior, es necesario generar acciones para mitigar el impacto que causa la presencia de fluoruro en el agua de nuestro país, estudiar las que se han implementado y mejorarlas, ya que es bien conocida la presencia de fluorosis dental en varias zonas del norte y centro del país.

MÉTODOS PARA ELIMINAR EL FLUORURO DE SISTEMAS ACUOSOS

A lo largo del tiempo se han implementado diversos métodos para la eliminación de fluoruro en el agua potable, entre los cuales están la nanofiltración, la coagulación, la adsorción, la desmineralización, la ósmosis inversa, la electrodialisis, el intercambio iónico y la precipitación química (Zamorategui-Molina, Gutiérrez-Ortega *et al.*, 2019).

- La adsorción es una técnica en la que se emplean materiales adsorbentes, los cuales acumulan o atraen una sustancia sobre su superficie.
- La ósmosis inversa es un proceso físico que combina el empleo de presiones altas y la permeabilidad; se emplea para la remoción de iones y moléculas disueltos en el agua; el flujo de agua pasa través de una membrana semipermeable que tiene una porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño.
- La ósmosis normal se caracteriza por emplear una membrana semipermeable para separar dos soluciones que contienen diferentes concentraciones de minerales.
- En la desmineralización se da un proceso de intercambio iónico que remueve los sólidos disueltos en el agua; ya que dichos sólidos contienen tanto aniones como cationes, se emplean resinas que cumplen con el propósito de intercambiar iones hidronio y resinas que cumplan con el intercambio de los iones oxhidrilo. La desmineralización suele utilizarse para remover arsénico, bario, cadmio, cromo y flúor.
- La coagulación química es la adición de compuestos químicos al agua para formar una masa que atrape partículas y neutralice las cargas (coagulación); con la floculación se consigue que se aglomeren dichas

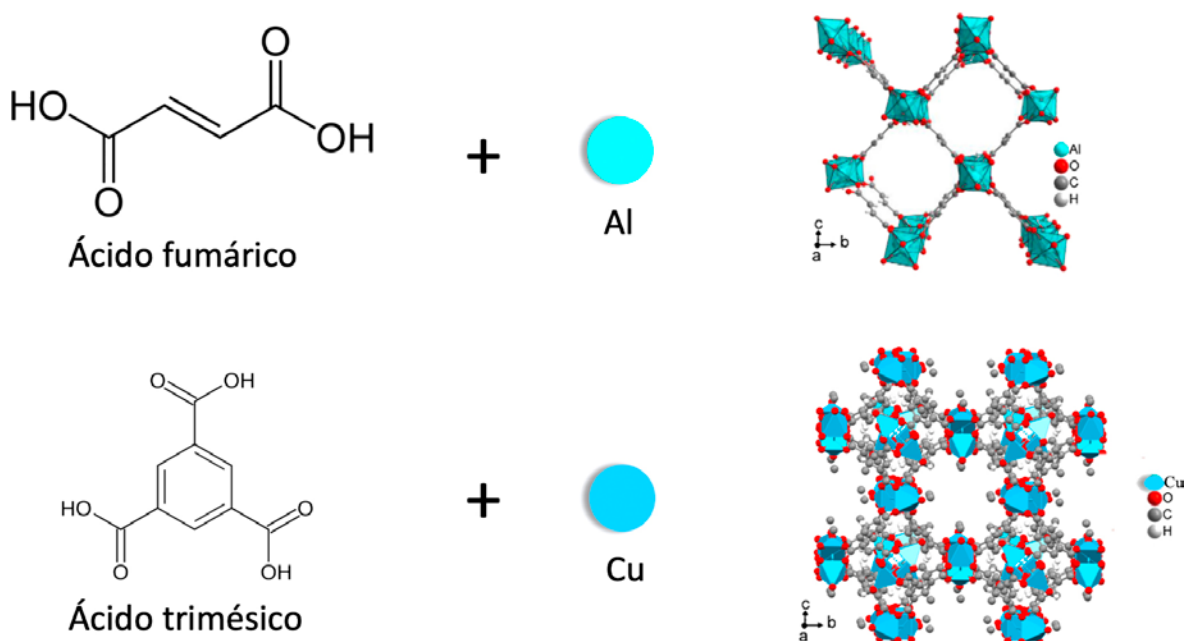


Figura 2. Ejemplos de algunos ligandos orgánicos y iones metálicos empleados en la síntesis de MOF, así como algunas estructuras de las MOF.

partículas, generando mayores masas que sedimentarán con mayor facilidad.

- En la electrodialisis se aplican los principios de la ósmosis, pero empleando un campo eléctrico (de corriente directa) en que el electrodo positivo atraerá a los aniones, y el negativo atraerá a los cationes.

NANOMATERIALES Y SU IMPLEMENTACIÓN PARA LA ELIMINACIÓN DE FLUORURO EN SISTEMAS ACUOSOS

Los nanomateriales pueden ser de origen natural o sintético, suelen tener una dimensión de entre 1 y 100 nanómetros, y tienen propiedades muy variables con un sinnúmero de aplicaciones en la medicina, la biología y la química; algunos presentan gran reactividad. En la Tabla 1 se presentan diversos nanomateriales sintéticos reportados recientemente y utilizados en la remoción del F^- .

NANOMATERIALES NOVEDOSOS EN LA RETENCIÓN DE FLUORUROS

Es vasta la gama de materiales que se ha ocupado para la retención de fluoruros, pero en los últimos

años se ha desarrollado una clase de materiales porosos cristalinos formados a partir de moléculas orgánicas (ligantes) y un centro metálico llamados MOF (por sus siglas en inglés: *metal organic frameworks*) (Figura 2).

Las MOF pueden usarse en distintas aplicaciones, dependiendo de su naturaleza química, y destacan por sus características atractivas para el cumplimiento de la retención de (F^-) , entre las que podemos mencionar una gran área específica, diversidad de tamaños de poros, flexibilidad estructural, posibilidad de funcionalización, entre muchas otras.

A lo largo de su desarrollo se ha reportado un gran número de aplicaciones, como soportes de catalizadores heterogéneos, materiales adsorbentes, dosificadores de fármacos, sensores, bactericidas y biocidas, etcétera (Martínez *et al.*, 2017).

Recientemente, una MOF a base de aluminio conocida como fumarato de aluminio (Al-Fum) fue sintetizada y patentada; se trata de un compuesto altamente estable en agua y con capacidad de adsorción para la eliminación de fluoruro en sistemas acuosos. También se han sintetizado y caracterizado MOFs de fumarato con capacidad de adsorción, por lo cual se visualizan como un nanomaterial adsorbente muy prometedor.

Otros materiales como estructuras de zeolita de imidazol, una subclase de MOF, tienen una capacidad de adsorción del 99.49 % a temperatura ambiente. En las síntesis de las MOF también sobresale el empleo de sales regeneradas, como los iones metálicos presentes en el barro rojo (desecho sólido de la producción de alúmina).

Dicha MOF es la representación de un nanomaterial que puede ser muy amigable con el medio ambiente, ya que ayudaría a aminorar la contaminación causada por los iones metálicos del barro rojo, como útil en la adsorción de F^- gracias a que adsorbe 82.645 mg de fluoruro por gramo de MOF (Wang *et al.*, 2020).

En este sentido, el uso de nuevos materiales con estructuras tridimensionales a base de aluminio, en particular compuestos por ligantes orgánicos, se vislumbra como una alternativa en la remoción de iones fluoruro del agua potable.

CONCLUSIONES

Existe una problemática mundial derivada del exceso de fluoruros en el agua potable que genera graves problemas de salud.

Se han diseñado diversas estrategias para eliminar o, por lo menos, disminuir la concentración de iones F^- para llegar a los límites permitidos por las normativas oficiales.

Este problema se ha ido atacando de distintas maneras a lo largo del tiempo.

Si bien es cierto que se han creado muchos materiales capaces de retener altas concentraciones de iones F^- , estos no han sido los más eficientes ni definitivos.

Entre las estrategias más prometedoras se encuentra el empleo de nanomateriales híbridos a base de aluminio y iones fumarato, ya que presentan mayor estabilidad y eficiencia.

Es necesario seguir con esta línea de investigación para profundizar en la creación de materiales e implementarlos con el objetivo de mitigar dicha problemática.

REFERENCIAS

- Affonso LN, Marques Jr JL, Lima VVC, Gonçalves JO, Barbosa SC, Primel EG, Burgo TAL, Dotto GL, Pinto LAA and Cadaval Jr TRS (2020). Removal of fluoride from fertilizer industry effluent using carbon nanotubes stabilized in chitosan sponge. *Journal of Hazardous Materials* 388:122042.
- Fallah ZHN Isfahani HN and Tajbakhsh M(2020). Removal of fluoride ion from aqueous solutions by titania-grafted β -cyclodextrin nanocomposite. *Environmental Science and Pollution Research* 27(3):3281-3294.
- Gao M, Wang W, Cao M, Yang H and Li Y (2020). Hierarchical hollow manganese-magnesium-aluminum ternary metal oxide for fluoride elimination. *Environmental Research* 188:109735.
- General CDS (2015) NORMA Oficial Mexicana NOM-013-SSA2-2015 para la prevención y control de enfermedades bucales. Secretaría de Salud, México.
- Jing F, Hui B, Yudan X, Rui Z, Puli Z, Duo B, Zeng D, Wei L and Xuebin L (2020). Recycling of iron and aluminum from drinking water treatment sludge for synthesis of a magnetic composite material (ALCS-Fe-Al) to remove fluoride from drinking water. *Groundwater for Sustainable Development* 11:100456.
- Martínez JSB, Rosales JMM and del Angel Soto J (2017). Síntesis y caracterización de nuevos materiales tipo MOFs mono y bimetálicos. *Jóvenes en la Ciencia* 3(2):700-704.
- Ortega-Guerrero MA (2009). Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de Lerma-Chapala, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 26(1):143-161.
- Wang X, Zhu H, Sun T and Dai H (2020). Synthesis of a Matériaux Institut Lavoisier metal-organic framework 96 (MIL-96 (RM)) using red mud and its application to defluorination of water. *Materials Today Communications* 25:101401.
- Zamorategui-Molina AN, Gutiérrez-Ortega L y Ángel-Soto D (2019). Cinética de la adsorción de fluoruro y arsénico usando nano-fibras de alúmina. *Revista Ciencia UAT* 14(1).
- Zhu F, Guo Z and Hu X (2020). Fluoride removal efficiencies and mechanism of schwertmannite from $KMnO_4/MnO_2-Fe(II)$ processes. *Journal of Hazardous Materials* 397: 122789.

María de Jesús Jiménez Ángeles

Sandra Loera-Serna

División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco

sls@correo.azc.uam.mx

Rubén Ruíz Ramos

Facultad de Medicina

Universidad Veracruzana



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

Nanomateriales: un rompecabezas científico

César I. Corpus Mendoza
Gerardo R. Rodríguez Contreras
Gabriela Navarro Tovar

Los nanomateriales se caracterizan por tener un tamaño pequeño, en el orden de los nanómetros (1 millón de veces más pequeño que 1 centímetro), esto es, aproximadamente 100,000 veces más pequeño que el diámetro de un cabello humano (Figura 1).

Los nanomateriales son tan importantes que algunos científicos los consideran la pauta de la Cuarta Revolución Industrial (Schwab, 2016).

La naturaleza química de los nanomateriales, así como su forma y tamaño, permiten que sus propiedades físicas, químicas y biológicas, sean diferentes a las propiedades de los materiales con un tamaño mayor, y han sido aprovechadas para un sinnúmero de aplicaciones comerciales y otras más en desarrollo.

La nanotecnología se encarga de entender los procesos involucrados en la obtención de nanomateriales y traducir el resultado de sus investigaciones en productos que permitan mejorar la calidad de vida de las personas y proporcionar herramientas tecnológicas que superen las funciones de las actuales. Así, se desarrollan nanomateriales que pueden ser empleados en diferentes áreas como la microelectrónica, agricultura, biomedicina, industria farmacéutica, industria textil, química, biotecnología, energías alternas, entre otras (D'Andrea, 2015) (Figura 2).

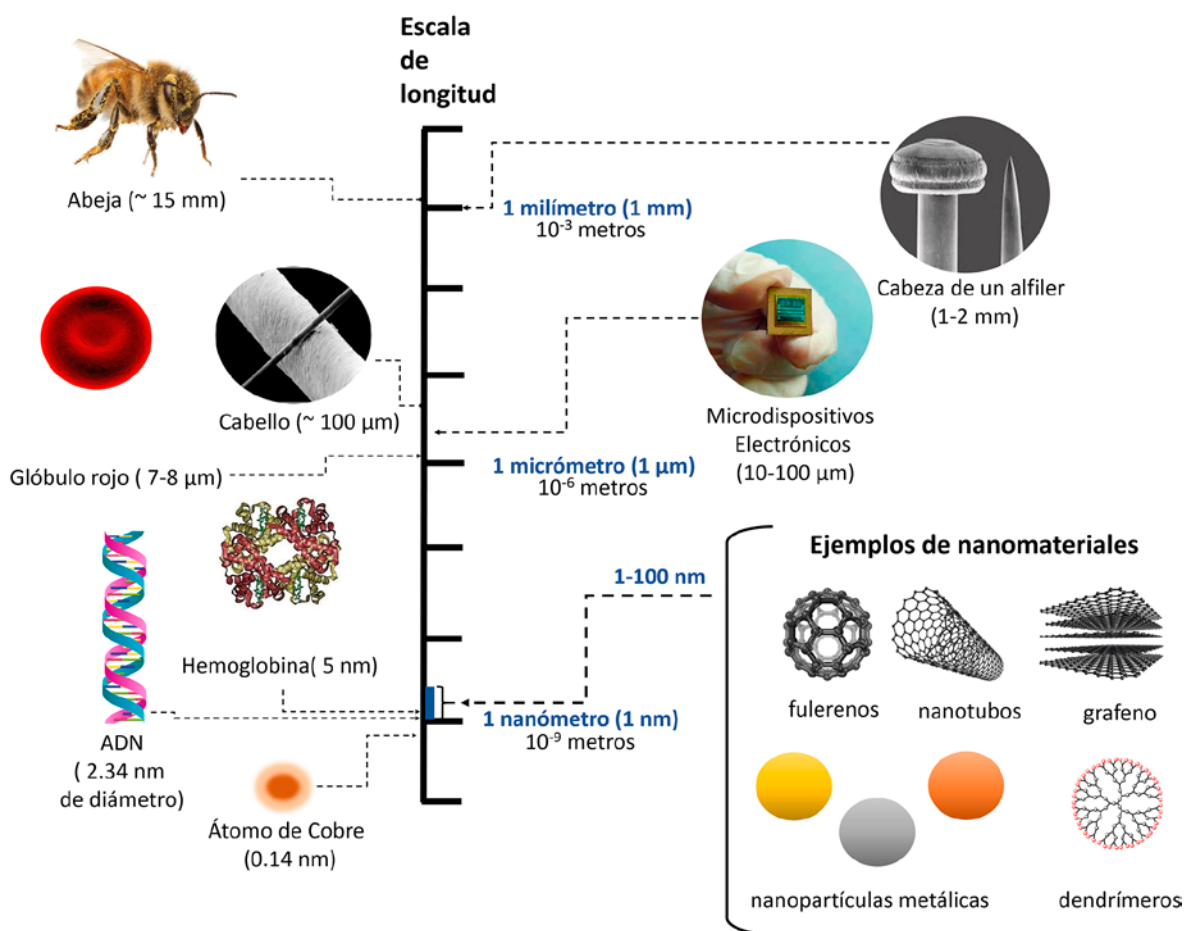


Figura 1. Comparación del tamaño de algunos nanomateriales con respecto a objetos visibles al ojo humano, y de moléculas de menor tamaño que los nanomateriales. Donde nm es nanómetros y µm es micrómetros. Imagen elaborada por los autores.

Antes de que estos materiales sean utilizados, se debe proporcionar toda la evidencia necesaria para demostrar su funcionalidad y seguridad. Dado que los nanomateriales son un grupo tan heterogéneo de sustancias, y tan complejo de clasificar, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, la Unión Europea con el Observatorio para Nanomateriales, la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos, entre otras organizaciones internacionales, trabajan para establecer regulaciones a los nanomateriales, para su obtención, uso, disposición y confinamiento seguro.

En este contexto, la caracterización de nanomateriales sigue las pautas establecidas por dichos organismos que conjuntan expertos en el área de la nanotecnología (Rasmussen *et al.*, 2018).

El propósito de este artículo es explicar el papel que desempeñan las técnicas más relevantes empleadas en la caracterización de nanomateriales y la información que se obtiene de cada una de ellas.

LOS NANOMATERIALES AL MICROSCOPIO

Los microscopios electrónicos son equipos muy potentes que generan imágenes fotográficas con el uso de la energía de un haz de electrones. Las imágenes son ampliaciones de 10 hasta 1,000,000 de veces el tamaño original de las muestras (Williams y Adams, 2006).

Existen varios tipos de microscopios electrónicos, como el microscopio electrónico de barrido o SEM (por sus siglas en inglés, *Scanning Electronic Microscope*), que genera imágenes cuando una pequeña muestra de nanomaterial es bombardeada



Figura 2. Clasificación de los nanomateriales de acuerdo con la Agencia del Medio Ambiente (EPA) de EUA, y ejemplos de aplicaciones. Imagen elaborada por los autores con información de la EPA. https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/ffrofactsheet_emergingcontaminant_nanomaterials_jan2014_final.pdf y con imágenes libres de derechos de autor.

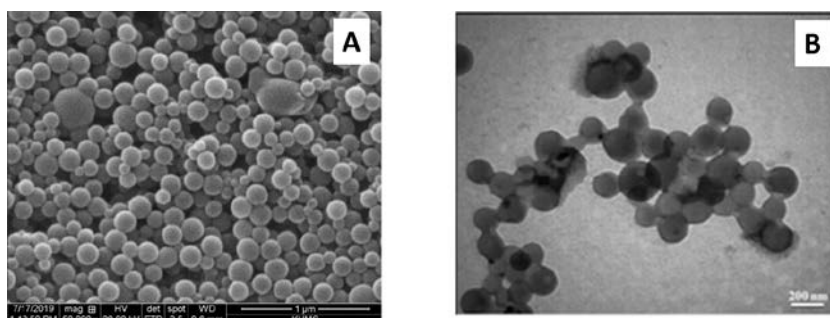


Figura 3. A) Imagen obtenida en SEM de nanopartículas de plata esféricas; se observa aquí una imagen detallada en 3D con diferentes tonalidades de gris. B) Imagen obtenida en TEM de las mismas nanopartículas de plata esféricas con diferente tamaño (entre 79 y 200 nm). Imágenes tomadas de Mavaei *et al.* (2020) *Scientific Reports* 10:1762 (acceso abierto).

por un haz de electrones que se dispersan o “rebotan” al chocar con la muestra. Los electrones son colectados, construyendo una imagen tridimensional que permite “ver” la superficie del material para determinar su estructura y tamaño.

La resolución de un SEM es aproximadamente 80,000 veces mayor que la de un microscopio óptico convencional, haciendo posible la visualización con gran detalle de las características de los materiales (Figura 3A).

Otro microscopio electrónico utilizado en nanotecnología es el microscopio electrónico de transmisión o TEM (por sus siglas en inglés, *Transmisión Electronic Microscope*).

Este equipo produce una imagen que corresponde a una proyección de todo el objeto, incluida la superficie y su estructura interna, usando diferentes tonalidades de gris.

Al igual que en el SEM, la muestra se bombardea con un haz de electrones; las imágenes se producen a partir de los electrones que se transmiten o pasan a través del nanomaterial.

Dado que los electrones interactúan con la materia, se atenúan cuando atraviesan un sólido; esto requiere que las muestras se preparen en secciones muy delgadas para permitir el paso del haz de electrones (0,1 μm). Esta técnica permite visualizar el tamaño, forma y organización de los nanomateriales (Figura 3B).

Algunos microscopios SEM y TEM tienen adaptado un sistema de análisis de rayos X por dispersión de energía, (EDX, por sus siglas en inglés, *Energy Dispersive X Ray*). Los rayos X del equipo mueven los electrones de los átomos que, al regresar a su

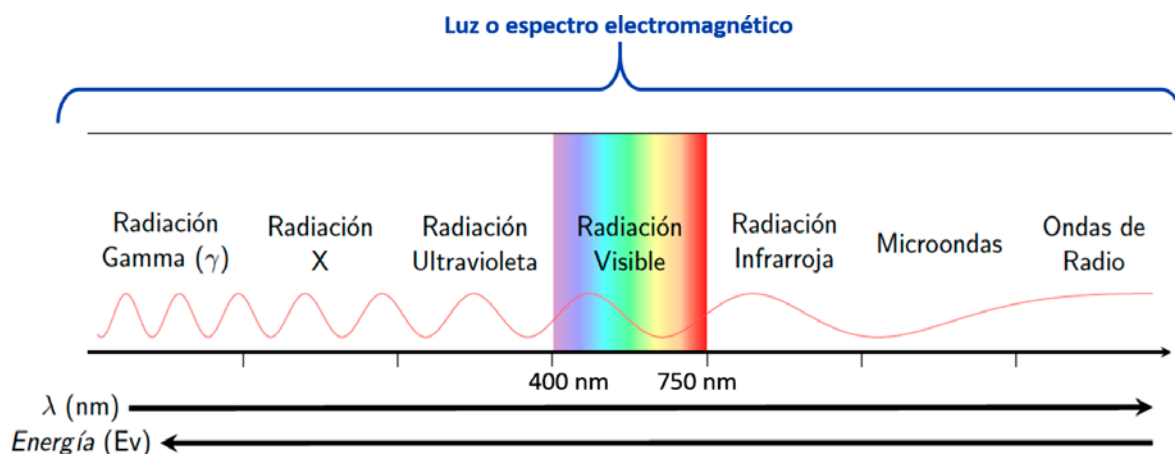


Figura 4. Luz o espectro electromagnético. Se observa que, a mayor longitud de onda (medida en nanómetros), menor energía, y viceversa. Imagen elaborada por los autores a partir de información del libro *Handbook of instrumental techniques for analytical chemistry*, (1997). Editada por Frank Settle. Ed. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, EUA.

estado original, liberan energía que es única de cada átomo, lo que permite conocer los elementos químicos en el nanomaterial en cuestión, por lo que, además de una imagen, proporciona un informe de su composición química (McMahon, 2008).

Otro instrumento para poder analizar la superficie de un nanomaterial es el microscopio de fuerza atómica. Lo que caracteriza a este microscopio es una sonda ultrafina que se acerca a la superficie del nanomaterial donde detecta y mide una atracción o repulsión química, provocando un movimiento hacia arriba o hacia abajo que se traduce en imágenes en 2D y 3D de la superficie del nanomaterial. Mediante un mapa de color para la altura, pueden medirse algunas propiedades mecánicas como la viscosidad; también se puede obtener información sobre la forma, permitiendo incluso su manipulación (McMahon, 2008).

USANDO LA LUZ PARA ENTENDER A LOS NANOMATERIALES

Recordemos primero que la luz (del latín *lux*, “luz”) está compuesta por partículas llamadas fotones que se mueven en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio. Dichas ondas tienen diferentes amplitudes y energías y en conjunto se denominan espectro electromagnético (Figura 4).

Hay segmentos o longitudes de onda de la luz que tienen poca energía, como las ondas de radio, mientras que hay otras con muy alta energía, como los rayos X y los rayos gamma.

Las ondas de luz chocan con los objetos, y las de mayor energía pueden penetrar a nivel de los átomos o electrones.

Esta propiedad es aprovechada por los espectrofotómetros, que utilizan alguna sección del espectro electromagnético para obtener información de la composición y conformación tridimensional de las moléculas y materiales.

Muchas moléculas absorben la luz ultravioleta (UV), la luz visible (Vis) o la luz infrarroja, lo que produce un movimiento de los electrones, o de vibración y rotación en la molécula debido a esta energía añadida.

Así, los movimientos pueden ser medidos en el espectrofotómetro, los datos llegan a una computadora, donde se recopilan y registran como un espectro de la molécula o material.

En el caso de la espectroscopía infrarroja, la energía sobre las moléculas en la superficie del nanomaterial provoca que sus enlaces se muevan o estiren.

Cada enlace que existe en la naturaleza se mueve diferente y, como cada molécula, compuesto y nanomaterial, tiene enlaces característicos, genera espectros que son como una “huella digital”, permitiendo saber si en la superficie del material hay un

alcohol, un óxido, un ácido o cualquier otro grupo químico (Settle, 1997).

Para la espectrofotometría UV-Vis, la luz que pasa a través de una muestra líquida proporciona energía que mueve los electrones de las moléculas. El espectro registrado nos indica si la muestra está compuesta por moléculas con electrones que forman enlaces sencillos, enlaces dobles o electrones que no forman enlaces.

El espectro también es único para cada compuesto, molécula o algunos nanomateriales. Este tipo de espectrofotometría también es útil para conocer el plasmón de resonancia superficial de nanopartículas metálicas, un fenómeno óptico (emisión de color por el movimiento de electrones de la superficie de la partícula) que tiene aplicaciones en el tratamiento y diagnóstico de enfermedades (McMahon, 2008).

Otro ejemplo del uso del espectro de la luz es la técnica de difracción de rayos X, XRD (por sus siglas en inglés, *X Ray Diffraction*), una de las más utilizadas para estudiar nanomateriales.

Esta técnica aprovecha la dispersión que sufren los rayos X cuando interactúan con la materia. Para ser más precisos, se basa en un fenómeno físico denominado difracción, el cual se produce cuando una parte de la radiación X “choca” con un obstáculo y otra parte de la radiación penetra el material.

Dado que los rayos X tienen una longitud de onda de tamaño similar al tamaño de los átomos que constituyen la materia, estos mismos átomos actúan como el obstáculo con el que se enfrenta la radiación, y el espacio que existe entre un átomo y otro constituye el hueco por el cual otra parte de la radiación penetra el nanomaterial. Entonces, la XRD nos proporciona información de la estructura tridimensional y orientación de los átomos que la conforman (McMahon, 2008).

LA IMPORTANCIA DEL TAMAÑO Y CARGA DE UN NANOMATERIAL EN AGUA

Algunos nanomateriales entrarán en contacto con agua o medios biológicos al ser liberados por los

productos que los contienen. Todos los nanomateriales presentan cargas eléctricas o grupos químicos que pueden interactuar con el medio, con lo que moléculas del medio pueden incorporarse a la superficie del nanomaterial cambiando su tamaño y carga eléctrica superficial y, en consecuencia, modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas iniciales. Por ello se debe conocer su tamaño y carga eléctrica (positiva, negativa o neutra) una vez que entra en contacto con agua. Estas mediciones se realizan en un equipo de dispersión dinámica de luz o DLS (por sus siglas en inglés, *Dispersion Light Scattering*).

El equipo mide la velocidad de movimiento de un nanomaterial en un líquido haciendo uso de una luz láser que, al impactar en la superficie de las partículas (muestra a analizar), es dispersada y la intensidad de la luz de salida se registra y está relacionada con el tamaño de las partículas, lo cual permite registrar su diámetro hidrodinámico, que es el diámetro real, más la primera capa de molécula de soluto que interactúa con la superficie del nanomaterial.

Conociendo que, a mayor tamaño de partícula menor movimiento a través del líquido, es posible caracterizar partículas con tamaños de 50 o 100 nm, hasta cientos de micras.

Con el mismo equipo se puede medir la carga eléctrica de las nanopartículas, el grado de repulsión/atracción entre ellas, que se denomina potencial zeta.

Esta medida se relaciona con la estabilidad del nanomaterial: a mayor potencial zeta, mayor estabilidad en el medio acuoso, y una alta probabilidad de que se mantenga así, en un medio fisiológico (un cultivo de células, en suero). También puede indicar la incorporación de proteínas y otras moléculas en la superficie de la nanopartícula.

Por ello, se deben registrar los cambios en el tamaño y carga de los nanomateriales en sus diferentes etapas, desde la síntesis hasta la evaluación, con la finalidad de determinar su seguridad de uso, o para ajustar su diseño a la función que se desea.

CONJUNTANDO LA INFORMACIÓN CIENTÍFICA EN EL ESTUDIO DE NANOMATERIALES

Los estudios que el nanomaterial necesitará inician con caracterizaciones básicas, por ejemplo, el tamaño y forma del material, su comportamiento en un medio líquido y su composición química. Esos datos pueden ser obtenidos con los equipos científicos que describimos en este artículo.

Por otro lado, se deben describir las propiedades particulares que se buscan en el nanomaterial; es decir, si el material es conductor de la electricidad, si ayuda a acelerar reacciones químicas (catalizador) o si puede ser utilizado en la fabricación de medicamentos.

Es de especial relevancia que antes de cualquier aplicación comercial se realicen estudios que indiquen si el nanomaterial es inocuo para el organismo y medio ambiente, o que determinen cuáles son los potenciales efectos tóxicos.

Para ello, quienes trabajamos con nanomateriales nos apoyamos en estudios computacionales que predicen interacciones con células o biomoléculas, y en estudios biológicos (en células y animales), con previa aprobación de un comité de ética en investigación.

Entonces, los equipos de microscopía electrónica son utilizados para la visualización de la morfología de los nanomateriales, y si están acoplados a EDS arrojan el análisis de su composición química. Los análisis espectrofotométricos con infrarrojo y UV-Vis nos indican los grupos químicos de la superficie y las características ópticas, respectivamente.

Finalmente, los estudios en dispersión dinámica de luz proporcionan datos de estabilidad de los nanomateriales en medios líquidos, como el agua. Por lo tanto, la nanotecnología requiere de investigaciones interdisciplinarias para la caracterización de los nanomateriales, de forma que se asegure que la descripción de sus propiedades biológicas, eléctricas, magnéticas, entre otras, sea acorde con las regulaciones y pautas de organismos internacionales que buscan la seguridad en el uso de los nanomateriales.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Químicas de la UASLP, por financiar la estancia de investigación de Gerardo Ramón Rodríguez Contreras, de la cual es parte este artículo de divulgación.

R E F E R E N C I A S

D'Andrea y ALD'A (2015). ¿Qué hace y dónde trabaja un nanotecnólogo? *Biotecnología & Nanotecnología al Instante: Un periódico semanal para vivir el presente pensando el futuro*. <http://infobiotechnologia.blogspot.com/2015/08/que-hace-y-donde-trabaja-un.html>.

Mavaei M, Chahardoli A, Shokoohinia, Y, Khoshroo A and Fattahi A (2020). One-step synthesized silver nanoparticles using isoimperatorin: Evaluation of photocatalytic, and electronical activities. *Scientific Reports* 10:1762.

McMahon G (2008). *Analytical instrumentation: a guide to laboratory, portable and miniaturized instruments*. 9-25, 170-171. Ed. Wiley-Interscience.

Schwab K (2016). *La cuarta revolución industrial*. Foro Económico Mundial. Ed. Debate, Barcelona, España.

Settle F (1997). *Handbook of instrumental techniques for analytical chemistry*. Ed. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, EUA.

Rasmussen K, Rauscher H, Mech A, Riego J, Gilliland D, et al. (2018). Physico-chemical properties of manufactured nanomaterials – Characterization and relevant methods. An Outlook based on the OECD Testing Program.

Technical Fact Sheet-Nanomaterials. Environment Protection Agency, EUA, November 2017. https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/ffrrofactsheet_emergingcontaminant_nanomaterials_jan2014_final.pdf.

Williams LD and Adams W (2006). *Nanotechnology Demystified*. Ed. McGraw-Hill Education, EUA.

César I. Corpus Mendoza
Gerardo R. Rodríguez Contreras
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Gabriela Navarro Tovar
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
gabriela.navarro@uaslp.mx

Diodos emisores de luz, un dispositivo semiconductor

Francisco **Ramírez**
Godofredo **García**

Hasta hace unos años, el foco incandescente era el dispositivo usual de iluminación. La incandescencia del foco es debida a que, al encenderlo, la corriente eléctrica circula a través de un filamento metálico, lo que genera un aumento de temperatura.

La luz proveniente de un foco incandescente es producto de la radiación electromagnética producida por la temperatura a la que se encuentra el filamento. En la actualidad, los diodos emisores de luz, conocidos como LEDs, han desplazado al foco incandescente. Una ventaja del LED es que la mayor parte de la energía consumida se transforma en luz, a diferencia del foco incandescente, en el que gran parte de la energía se disipa en forma de calor, en vez de luz.

EL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO LED

La invención del LED data de los inicios de los años sesenta, y su presencia en el mercado pasó casi desapercibida durante mucho tiempo, pues su primera aplicación fue como indicador luminoso. Los LEDs suelen encontrarse como indicadores de encendido y apagado de los aparatos electrónicos. Su limitante principal era la intensidad de luz que podían emitir.



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

En la década de 1990 se desarrollaron nuevos LEDs que permitían emitir una mayor cantidad de luz. Inicialmente se aplicaron en la industria automotriz. Hoy en día, en cambio, la mayoría de los faros de los autos se fabrican con LEDs ultrabrillantes.

LED, UN DISPOSITIVO SEMICONDUCTOR

El principio físico que rige la emisión de luz en cualquier tipo de LED, sea o no ultrabrillante, es el mismo. Un LED se construye empleando dos materiales semiconductores. Por un lado, se tiene un material semiconductor con exceso de carga negativa (electrones) llamado cátodo, y por otro, un material semiconductor con exceso de carga positiva (huecos) conocido como ánodo. Cuando la conexión se realiza apropiadamente, los electrones que tienen carga negativa son atraídos hacia el material con exceso de carga contraria, es decir el ánodo. Este movimiento de cargas origina que en la unión de los materiales se produzca una diferencia de energía que es liberada en forma de luz. A diferencia de un foco incandescente en el que la circulación de corriente acorta el tiempo de vida del filamento, en un LED la unión de los materiales semiconductores no se ve afectada por la circulación de corriente, posibilitando el uso del dispositivo durante mucho tiempo. Los estudios demuestran que el LED supera

por mucho el tiempo de vida del foco incandescente. En el curso de los años se han realizado diversas investigaciones encaminadas a mejorar el funcionamiento de los diodos emisores de luz. Destaca el trabajo de los investigadores japoneses Shuji Nakamura, Hiroshi Amano e Isamu Akasaki, quienes recibieron el Premio Nobel de Física 2014 por su contribución en el desarrollo de diodos emisores de luz de alta eficiencia (<https://p.dw.com/p/1DRUR>).

Este desarrollo tecnológico permitió la fabricación de LEDs ultrabrillantes que han ido evolucionando hasta convertirse en dispositivos necesarios en la iluminación.

INVESTIGACIÓN EN EL MEJORAMIENTO DEL LED

Actualmente se dispone de LEDs de baja y alta eficiencia, y son usados en equipos electrónicos y de iluminación. Esto no significa que el tema se ha agotado: actualmente se busca optimizar alguno de los aspectos involucrados en la fabricación de los LEDs, como extender las aplicaciones, aumentar la eficiencia, alargar el tiempo de vida, aumentar la intensidad luminosa, explorar nuevos materiales de fabricación y desarrollar técnicas de fabricación más baratas y amigables con el medio ambiente. La idea de contar con un dispositivo que proporcione iluminación con un tiempo de vida largo y alta intensidad luminosa representa un avance en la tecnología de los materiales y en las técnicas para fabricarlos. Las técnicas de fabricación de LEDs han dado pauta al desarrollo tecnológico de otras aplicaciones como pantallas táctiles, pantallas planas, sistemas bactericidas, transistores de alta frecuencia, sistemas láser, nanoestructuras, recubrimientos, entre otras. Para fabricar dispositivos semiconductores como los LEDs, se utilizan diferentes técnicas de fabricación que permiten el depósito o crecimiento de los materiales que conforman los dispositivos. Una técnica utilizada en la fabricación de materiales semiconductores es el depósito de químicos en fase vapor, cuya característica principal es que los químicos utilizados son del tipo metal-orgánico. A este sistema se le conoce como MOCVD (por sus siglas en inglés: *Metal-Organic Chemical Vapor Deposition*).



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.

Este sistema es útil no solo en la tecnología LED, sino también en el desarrollo de dispositivos basados en películas y estructuras semiconductoras (Zilko, 2001).

El depósito del material semiconductor se realiza dentro de una cámara o reactor en el que se introduce el reactivo químico metal-orgánico en fase vapor. En el interior del reactor, la temperatura es superior a los 400 °C. La temperatura puede variar dependiendo del material que se desea depositar. En el interior del reactor la molécula metal-orgánica se rompe debido a la temperatura, “soltando” la parte metálica, y el metal se deposita sobre un sustrato. El sustrato debe tener características especiales y se elige cuidadosamente con la intención de que el material que se deposita sobre él siga un arreglo atómico conocido como estructura. Podemos imaginar el arreglo atómico como bloques de construcción; la idea es que el material que se coloca encima (depósito de material) siga la forma que tiene la base (sustrato). A este tipo de depósito se le conoce como epitaxia o crecimiento epitaxial.

Los sistemas MOCVD se han ido perfeccionado conforme los requerimientos tecnológicos, con la finalidad de obtener materiales más puros, uniformes, con mayor eficiencia óptica y con un mayor control entre capas de diferentes composiciones. El desarrollo de la técnica de crecimiento epitaxial MOCVD permite fabricar diferentes tipos de dispositivos como celdas solares, fotodetectores, fotodiodos, láseres y diferentes tipos de transistores, por mencionar algunos (Christiansen *et al.*, 2002).

DEPÓSITO DE MATERIALES SEMICONDUCTORES EN LA BUAP

En el Centro de Investigación en Dispositivos Semiconductores (CIDS) del Instituto de Ciencias (ICUAP) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, se ha diseñado e implementado con éxito un sistema MOCVD. Se trata del primer sistema en su tipo que se encuentra funcionando en nuestra Universidad

(BUAP) y en el Estado de Puebla. La ventaja de los equipos construidos en los laboratorios es que su diseño y construcción se realiza con fines de investigación, en comparación con los equipos comerciales que están diseñados para producir a gran escala. Además, hay la posibilidad de adaptar, reparar y modificar los sistemas para adecuarse a las necesidades de investigación. En nuestro caso, se consume la menor cantidad de insumos posible y también hemos mejorado el sistema de calefacción para alcanzar las temperaturas de operación en tiempos cortos gracias a la optimización de la fuente de temperatura y el confinamiento de la temperatura.

CONCLUSIÓN

La investigación en ciencia básica contribuye al desarrollo tecnológico que, a mediano y largo plazo, impacta la vida de todos, pues fomenta el desarrollo de nuevas aplicaciones y el mejoramiento de las existentes, como en el caso del LED. El principio de funcionamiento no varía, pero los científicos, en coordinación con los fabricantes de LEDs, desarrollan nuevos métodos de fabricación para mejorar la eficiencia de los dispositivos y disminuir los costos de fabricación. Incluso se incursiona en nuevos materiales, como el desarrollo de LEDs con materiales orgánicos. La instalación del sistema MOCVD en el Centro de Investigación en Dispositivos Semiconductores de la BUAP posibilita a los investigadores el depósito y estudio de materiales semiconductores que puedan ser aplicados en dispositivos ópticos y electrónicos, y contribuye así al mejoramiento y desarrollo de materiales y dispositivos semiconductores.

REFERENCIAS

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/315524/5_LED.pdf.
<https://www.osram.es/cb/servicios/garant%C3%ADas/index.jsp>.
<https://p.dw.com/p/1DRUR>.

Zilko JL (2001). *Metal Organic Chemical Vapor Deposition: Technology and Equipment*. En Handbook of Thin Film Deposition Processes and Techniques; Seshan, K., Ed.; Noyes Publications.

Christiansen K, Luenenbuerger M, Schineller B, Heuken M and



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2010.

Juergensen H (2002). Advances in MOCVD technology for research, development and mass production of compound semiconductor devices. *Opto-Electronics Review*.

Francisco Ramírez
IIIER, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
francisco.ramirezglez@alumno.buap.mx

Godofredo García
CIDS-ICUAP
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

Desarrollo de sistemas inteligentes para liberación de fármacos

Maricruz **Sagaste Higuera**
Ana María **Morales Burgos**
Brandon B. **Lugo Moreno**

La industria farmacéutica es un sector empresarial con un gran impacto económico a nivel mundial. Esta industria se encarga de descubrir, investigar, desarrollar y producir medicamentos para la prevención y el tratamiento de enfermedades.

Gran parte de la inversión realizada por esta industria está destinada al área de investigación y desarrollo (I+D) para encontrar nuevas moléculas o bien desarrollar formulaciones que permitan tratamientos más eficaces.

Un sistema de liberación (SL) dirigida se podría definir como un material o forma farmacéutica diseñado para contener un fármaco y liberarlo en un sitio específico, ya sea una región, una célula o un receptor, y preferentemente manteniendo una velocidad de liberación constante.

De esta manera, un SL dirigida puede evitar la degradación prematura del fármaco, mejorando su absorción en el organismo y reduciendo sus posibles efectos secundarios asociados a su absorción a nivel sistémico.

La mayoría de dichos SL se basan en polímeros, por lo que en el presente documento se revisan algunas generalidades de estos, asociadas a los SL con aplicación potencial en el ámbito farmacéutico.

POLÍMEROS Y MATERIALES INTELIGENTES:

RESPONDIENDO A LOS ESTÍMULOS

Un material inteligente es aquel que ante un estímulo físico-químico externo (por ejemplo, temperatura, pH, luz, campo eléctrico, campo magnético) responde cambiando sus propiedades o forma, ya sea que se hinche, cambie de color o estado, etcétera. El éxito del uso de estos materiales depende del mecanismo de adaptación ante el estímulo, como la velocidad de respuesta y la reversibilidad (Sánchez Andrada, 2017). Estos materiales son obtenidos con polímeros inteligentes. Los polímeros se definen como moléculas formadas por unidades repetitivas más pequeñas, denominadas monómeros, las cuales están unidas por enlaces covalentes. Igual que los materiales anteriormente comentados, para que esos polímeros sean considerados inteligentes deben de tener la capacidad de responder a cambios del ambiente. Estos polímeros pueden formar materiales de formas diferentes como hidrogeles, micro y nanopartículas, películas, etcétera. Los polímeros inteligentes se pueden clasificar de la siguiente manera:

- *Según el estímulo al que responden.* Estos estímulos pueden ser físicos, químicos o biológicos. Existen varios estudios en los que se comprueba el uso y la efectividad de estos sistemas responsivos. Un ejemplo de polímeros termosensibles son los copolímeros de quitosano-g-poli(N-vinilcaprolactama); que presentan características interesantes debido a su solubilidad en agua: mientras el quitosano es insoluble en agua de manera aislada, la copolimerización con poli(N-vinilcaprolactama) le confiere esta propiedad. Además, estos copolímeros son solubles en temperaturas por debajo de su temperatura de solución crítica inferior (LSCI), ya que presentan temperaturas de 36 y 44 °C; esta característica permite la preparación de sistemas de liberación de fármacos sensibles a la temperatura, lo que permitiría que al ser suministrados en un sistema biológico liberen el fármaco al alcanzar su LSCI (Fernández-Quiroz *et al.*, 2015).

Por otro lado, están los polímeros que son sensibles al pH; estos son ideales para la liberación de los fármacos en el tracto gastrointestinal. Algunos de estos polímeros son ya utilizados como recubrimientos en formas farmacéuticas de liberación retardada, como el Eudragit L y S (basados en ácido metacrónico y metilmetacrilato), que permite la liberación de fármacos en medios alcalinos como el intestino delgado, debido a que resisten la degradación en medios ácidos como el del estómago. Por otra parte, los hidrogeles nanocompuestos de goma gellan y pirridol, son un ejemplo de materiales que responden al campo eléctrico; se estudió la liberación de ibuprofeno en estos encontrándose que es controlable mediante la aplicación de un potencial eléctrico bajo, por lo que se propone su aplicación en dispositivos biomédicos (Salazar Salas, 2021).

- *Según la respuesta que proporcionan.* Los polímeros inteligentes, al someterse a los estímulos externos mencionados, exhiben cambios drásticos en su conformación, como pueden ser hinchamiento/contracción, flexión, color y cambios de estado (Sánchez Andrada, 2017). De acuerdo con lo reportado en la revisión de literatura publicada por Argüelles-Monal y colaboradores (2017), el quitosano es un polímero con carga iónica que es sensible al pH y que no forma geles físicos de manera aislada, pero al mezclarse con glicerol fosfato se pueden formar geles que son también sensibles a la temperatura, haciendo que soluciones de estos a temperatura ambiente permanezcan en estado líquido pero puedan formar hidrogeles al calentarlas a 37 °C. De manera similar, se ha estudiado un comportamiento parecido al mezclar quitosano con poliofosfato (Supper *et al.*, 2013). Este comportamiento se atribuye a que el fosfato puede neutralizar la carga iónica del quitosano, mientras el poliol puede dar la propiedad térmica; al alcanzar la temperatura se pueden favorecer las interacciones polímero-polímero que llevan a la formación del gel.

En cuanto a sistemas de administración gastrointestinal y en terapias contra el cáncer, se ha incrementado la investigación en el uso de hidrogeles que son sensibles a pH. Estos pueden sufrir deformación o degradación al reaccionar

a ambientes ácidos o alcalinos permitiendo la liberación de su contenido. Los tumores tienen un microambiente con pH ligeramente ácido (pH 6.5 a 6.9) en comparación con otras regiones, por lo que puede utilizarse como un elemento inductor de liberación (Zhuo *et al.*, 2020). Un ejemplo de esta aplicación son las formulaciones desarrolladas por Rihova y colaboradores (2001), quienes utilizaron N-(2-hidroxipropil) metilacrilamida (HPMA) enlazada con doxorrubicina (DOX); estos sistemas liberaron DOX en condiciones ácidas específicas en los tejidos tumorales. Dirigiendo así la liberación al sitio de interés, se sugiere que es posible reducir los efectos secundarios asociados a los fármacos.

Otras respuestas que se pueden obtener con los materiales inteligentes son la memoria de forma y la autorreparación. Davidson-Rozenfeld y colaboradores (2019) obtuvieron hidrogeles a base de carboximetilcelulosa funcionalizados con β -ciclodextrina y entrecruzados con arilazopirazol; estos materiales presentaron memoria de forma y resultaron ser autorreparables al someterse a la luz ultravioleta (UV). Para demostrar la propiedad de memoria de forma del material, se forma un hidrogel de forma triangular por moldeo y al someterlo a luz UV, este se deforma; posteriormente, al someterlo a luz visible, vuelve a su forma *triangular* original. Para evidenciar la propiedad de autorreparación, se inicia con el material seccionado y sometido a luz UV, posteriormente se unen físicamente las piezas y, al someterlas a luz visible, el material se regenera por la formación de enlaces de entrecruzamiento. Por lo anterior, los autores proponen el uso potencial de estos materiales sensibles a la luz para la liberación controlada de fármacos, aunque esto aún no se ha demostrado.

EFFECTO DEL TAMAÑO DEL SL EN LA LIBERACIÓN DE FÁRMACOS Y EN LA TOXICIDAD

Del proceso de liberación del fármaco, entre otros factores, depende que este tenga un efecto terapéutico o tóxico. En los hidrogeles, los mecanismos de liberación de moléculas atrapadas pueden ser difusión, hinchamiento y erosión, y tales mecanismos dependen de las características fisicoquímicas del

polímero utilizado para la preparación del material. El mecanismo de difusión se refiere al paso del fármaco desde una región de mayor concentración a una de menor concentración a través de una membrana que rodea el hidrogel. En el hinchamiento, si la matriz es hidrófila, el hidrogel absorbe agua y se hincha, abriendo sus poros y permitiendo la salida del fármaco. Finalmente, la erosión produce la degradación o disolución del polímero del hidrogel, ya sea en su parte superficial o completamente (Salazar-Salas, 2021).

Además del tipo de polímero utilizado, los factores relacionados con el SL que tienen efecto en la liberación del fármaco son el tamaño y la forma de partícula, así como el contenido de fármaco cargado en el mismo (Garcés Padilla, 2018) una alternativa para evitar este fenómeno consiste en dividir la matriz monolítica en pequeñas porciones como microesferas. La microesferificación ha tomado relevancia en aplicaciones farmacéuticas, en entre otras razones por disminuir los efectos adversos causados por los fármacos, además de facilitar la administración e incrementar el cumplimiento terapéutico. Aplicando gelificación iónica, se elaboraron microesferas de liberación prolongada, de diclofenaco sódico, variando el porcentaje y tipo de polímeros: alginato de sodio, hidroxipropilmetilcelulosa y carrageninas iota y lambda. Una vez caracterizadas en términos del tamaño de partícula, porcentaje de encapsulamiento y perfil de disolución se demostró que la mejor formulación fue la que incluye HPMC al 1 %, alginato de sodio al 8 %, pues cumple con los rangos de aceptación establecidos en la farmacopea USP39-NF34. Los parámetros de confiabilidad: coeficiente de correlación, coeficiente de correlación ajustado y el criterio de información de Akaike (AIC). En un estudio realizado por Chen y colaboradores (2016) se evaluó el efecto del tamaño del SL sobre la carga de fármaco y la cinética de liberación; para esto, se prepararon microesferas de ácido poli (láctico-co-glicólico) (PLGA) cargadas con gefitinib, una molécula que se emplea para el tratamiento de cierta variedad de

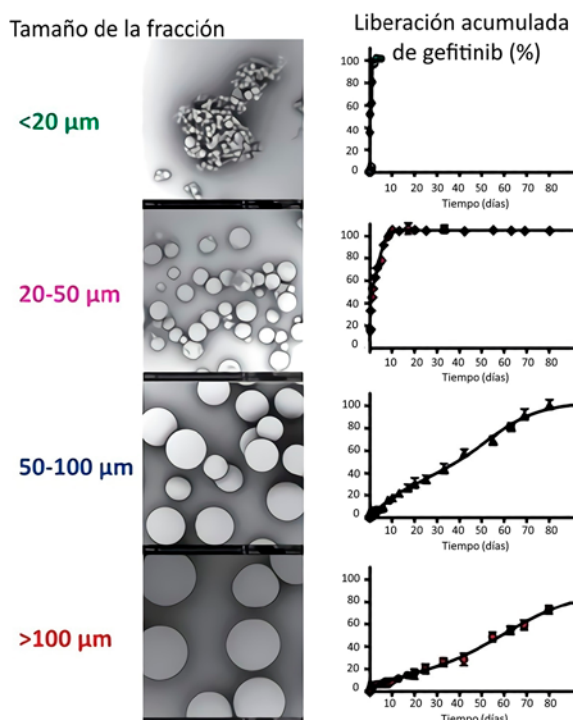


Figura 1. Efecto del tamaño del SL sobre la cinética de liberación del fármaco. Las microesferas fabricadas con PLGA de tamaño menor a 50 μm muestran una liberación rápida (dos días) del fármaco gefitinib, mientras que las microesferas mayores a 50 μm tienen una liberación continua del fármaco por tres meses. Adaptada con permiso de Chen *et al.* (2016). Copyright 2022 American Chemical Society.

cáncer de pulmón. Se obtuvieron partículas con amplia distribución de tamaño, por lo que fueron fraccionadas en cuatro secciones de 5 ± 1 , 32 ± 4 , 70 ± 3 y $130 \pm 7 \mu\text{m}$. La capacidad de carga del gefitinib fue afectada según el tamaño de la partícula, variando de 2.4 ± 0.3 a 7.6 ± 0.9 % peso/peso de las de menor a las de mayor tamaño, evidenciando una diferencia de carga de fármaco de más de 3 veces de las partículas mayor tamaño a las partículas de menor tamaño. En cuanto a los estudios de liberación del fármaco, se realizó un estudio *in vitro*. Las microesferas menores a 50 μm liberaron el gefitinib por difusión de manera rápida y completa en una semana. Las microesferas de mayor tamaño presentaron una liberación sigmoide durante tres meses, la primera fase de liberación mediada por difusión y la segunda por erosión (Figura 1).

En este estudio se demostró que el tamaño del SL modifica la capacidad de carga de fármaco y

la cinética de liberación de este. Para obtener un sistema reproducible de liberación sostenida, por lo tanto, debe controlarse el tamaño del SL. Estos resultados abren también la oportunidad de poder modificar la liberación a las características deseadas, recombinando diferentes tamaños, en caso de ser necesario (Chen *et al.*, 2016).

En otro estudio realizado por Caster y colaboradores (2017) se analizó el efecto que tiene el tamaño del SL en tratamientos con quimiorradioterapia; para ello se eligieron tres poblaciones de nanopartículas poliméricas de metoxi-polietilenglicol y ácido poli (láctico-co-glicólico) (mPEG-PLGA) que diferían en el tamaño (50, 100 y 150 nm de diámetro). En ellas se encapsularon inhibidores de la reparación de ADN (PK wortmanina y el inhibidor de la ataxia telangiectasia mutada-ATM KU60019).

En este estudio se comprobó que el tamaño del SL tiene efecto sobre la biodistribución y la toxicidad de las nanopartículas en aplicaciones de quimiorradioterapia: las más pequeñas (50 nm) penetraron de manera homogénea los tumores, no fueron más eficaces que el fármaco aislado y, en cuanto a la toxicidad, combinadas con la radioterapia, son más tóxicas que las de mayor tamaño (Caster *et al.*, 2017).

CONCLUSIÓN

El desarrollo de medicamentos ha permitido el tratamiento y prevención de enfermedades. En el mercado pueden encontrarse diferentes formas farmacéuticas y formulaciones tradicionales como cápsulas, tabletas, soluciones, etc., y si bien las características fisicoquímicas del fármaco son imprescindibles para el éxito de una formulación, las tendencias actuales de investigación contemplan también las características de los materiales utilizados como parte de los sistemas de liberación (tamaño, forma, respuesta a estímulos, etc.) pues está ampliamente reportado su efecto en la liberación, biodistribución, toxicidad y capacidad de carga. Por tanto, la ciencia de materiales y la química macromolecular tiene en esta área un nicho importante de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento PROFAPI 2022 recibido por la Universidad Autónoma de Sinaloa, a través del proyecto PRO_A2_028 otorgado a la doctora Ana María Morales Burgos.

REFERENCIAS

Argüelles-Monal W, Recillas-Mota M and Fernández-Quiroz D (2017). Chitosan-Based Thermosensitive Materials. En Shalaby EA (Ed.). *Biological Activities and Application of Marine Polysaccharides* (pp. 279-302). IntechOpen.

Caster JM, Yu SK, Patel AN, Newman NJ, Lee ZJ, Warner SB, Wagner KT, Roche KC, Tian X, Min Y and Wang AZ (2017). Effect of particle size on the biodistribution, toxicity, and efficacy of drug-loaded polymeric nanoparticles in chemoradiotherapy. *Nanomedicine : Nanotechnology, Biology, and Medicine* 13(5):1673.

Chen W, Palazzo A, Hennink WE and Kok RJ (2016). Effect of Particle Size on Drug Loading and Release Kinetics of Gefitinib-Loaded PLGA Microspheres. *Molecular Pharmaceutics* 14(2):459-467.

Davidson-Rozenfeld G, Stricker L, Simke J, Fadeev M, Vázquez-González M, Ravoo BJ and Willner I (2019). Light-responsive arylazopyrazole-based hydrogels: Their applications as shape-memory materials, self-healing matrices and controlled drug release systems. *Polymer Chemistry* 10(30):4106-4115.

Fernández-Quiroz D, González-Gómez Á, Lizardi-Mendoza J, Vázquez-Lasa B, Goycoolea FM, San Román J and Argüelles-Monal

WM (2015). Effect of the molecular architecture on the thermosensitive properties of chitosan-g-poly(N-vinylcaprolactam). *Carbohydrate Polymers* 134:92-101.

Garcés Padilla JA (2018). Elaboración de microesferas de diclofenaco sódico por gelación ionotrópica para la obtención de formas farmacéuticas sólidas de liberación prolongada. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15496>.

Ríhová B, Etrych T, Pechar M, Jelínková M, Stastný M, Hovorka O, Kovár M and Ulbrich K (2001). Doxorubicin bound to a HPMA copolymer carrier through hydrazone bond is effective also in a cancer cell line with a limited content of lysosomes. *Journal of controlled release: official journal of the Controlled Release Society* 74:225-232.

Sánchez Andrada M (2017). Sistemas inteligentes para la liberación controlada de fármacos. Recuperado de: <https://idus.us.es/handle/11441/66476>.

Salazar Salas BM (2021). Hidrogel Nanocompuesto electroconductor basado en goma gellan como sistema estímulo-respuesta para aplicaciones biomédicas. Recuperado de: <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/handle/20.500.12984/6694>.

Supper S, Anton N, Seidel N, Riemenschnijder M, Curdy C and Vandamme T (2014). Thermosensitive chitosan/glycerophosphate-based hydrogel and its derivatives in pharmaceutical and biomedical applications. *Expert Opin Drug Deliv* 11:249-67.

Maricruz Sagaste Higuera

Ana María Morales Burgos

Brandon B. Lugo Moreno

Facultad de Ciencias Químico-Biológicas

Universidad Autónoma de Sinaloa

amoraless.fcqb@uas.edu.mx





© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.

El biodiésel... ¿listo para brillar en México?

Mara F. **Juárez-Cota**
Moisés O. **Patiño-Galeana**
David U. **Santos-Ballardo**

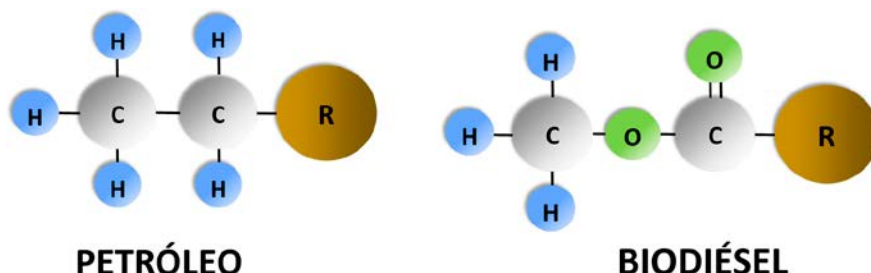
El diésel es un combustible líquido derivado de petróleo utilizado en el sector del transporte por vehículos automotores y de carga. De hecho, representa el 28 % de la demanda de combustibles para transporte a nivel nacional; tan solo en el año 2020, en México se llegaron a consumir más de 627 petajoules (unidad de medida de calor y energía que se utiliza para cuantificar grandes cantidades de energía) (Martínez-Valencia *et al.*, 2020).

Además, se prevé que en los próximos años habrá un incremento en la demanda de diésel en el sector marítimo hasta del 25 %, derivado de convenios internacionales que limitan el uso de combustóleo con alto contenido de azufre, con lo que se espera un incremento notable en el precio del diésel (Martínez-Bravo y Masera, 2020).

Cabe mencionar que, aunque el diésel contiene menos azufre que el combustóleo, por su naturaleza como derivado del petróleo, aún contiene azufre; además, durante su combustión se generan gases de efecto invernadero (Blumberg *et al.*, 2003).

En México se han desarrollado normativas para promover el uso de diésel ultra bajo en azufre (menos de 15 ppm), sin embargo, la aplicación de estas ha sido aplazada hasta finales del 2024 debido a la poca disponibilidad de este tipo de combustible (Martínez-Valencia *et al.*, 2020). Es en medio de este panorama que el biodiésel “brilla” como alternativa viable y atractiva, ya que como se describirá a

Figura 1. Estructuras moleculares de petróleo y biodiésel. Adaptada de García-Bustamante y Masera-Cerutti, 2016.



continuación el biodiésel es químicamente similar al diésel, por lo que puede ser utilizado por los mismos motores y equipos; además, su contenido de azufre es muy bajo, por lo que se considera que no contribuye a emisiones contaminantes azufradas. Cabe destacar que se considera biodegradable (más del 90 % se puede biodegradar en aproximadamente 21 días) y su combustión es más eficiente que la del diésel convencional (Leung *et al.*, 2010). Es por esto por lo que se ha considerado al biodiesel como un combustible renovable y limpio, además, es un excelente candidato para complementar (y en el futuro sustituir) al diésel de petróleo.

El biodiésel se puede producir a partir de distintas materias primas como aceites vegetales o grasas animales, los cuales pueden ser de primera generación (cultivos alimenticios), segunda generación (cultivos no alimenticios) o tercera generación (aceites residuales y grasas animales).

¿QUÉ ES EL BIODIÉSEL?

El biodiésel es un combustible líquido de origen orgánico, con características similares al diésel de petróleo, está formado por ésteres alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, obtenidos de lípidos renovables (como aceites vegetales o grasas animales), y que pueden ser empleados en motores diésel o en calderas de calefacción (Martínez-Valencia *et al.*, 2020).

En México, la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos lo define como “*combustible que se obtiene por la transesterificación de aceites de origen animal o vegetal*” (DOF, 2018).

Una característica importante del biodiésel es su estructura molecular; porque, aunque se trate de diversos compuestos, una molécula de biodiésel puede ser similar a una de petróleo (diésel), ya que ambas tienen átomos de carbono (C) e hidrógeno (H); sin embargo, el biodiésel contiene dos oxígenos, lo que ayuda a que su combustión sea más eficiente en el motor, requiriendo menos oxígeno del medio ambiente (Figura 1) (Leung *et al.*, 2010)

IMPORTANCIA Y USO DEL BIODIÉSEL

EL USO excesivo del petróleo ha contribuido a los problemas de contaminación ambiental relacionados con la combustión indiscriminada de este combustible, que a su vez se han relacionado con la acumulación de gases de efecto invernadero (principalmente CO₂ y compuestos azufrados) y que han derivado en el importante cambio climático que se ha reportado en los últimos años (Martínez-Bravo y Masera, 2020).

Los principales usos del diésel están ligados al transporte y a la generación de energía eléctrica, sectores que a nivel mundial aportan una gran cantidad de CO₂ antropogénico (es decir, derivado de las actividades humanas), por lo que la reducción del uso de diésel derivado de petróleo es una meta importante para disminuir la producción de gases con efecto invernadero. Debido a esto, se ha impulsado el aprovechamiento de la biomasa como una alternativa en la producción de biodiésel, sobre todo en algunos países como Estados Unidos y en la Unión Europea, donde ya se utiliza de manera importante (Kouzu y Hidaka, 2012).

Respecto a su uso, a escala internacional normalmente se usa como mezclas (biodiésel con diésel),

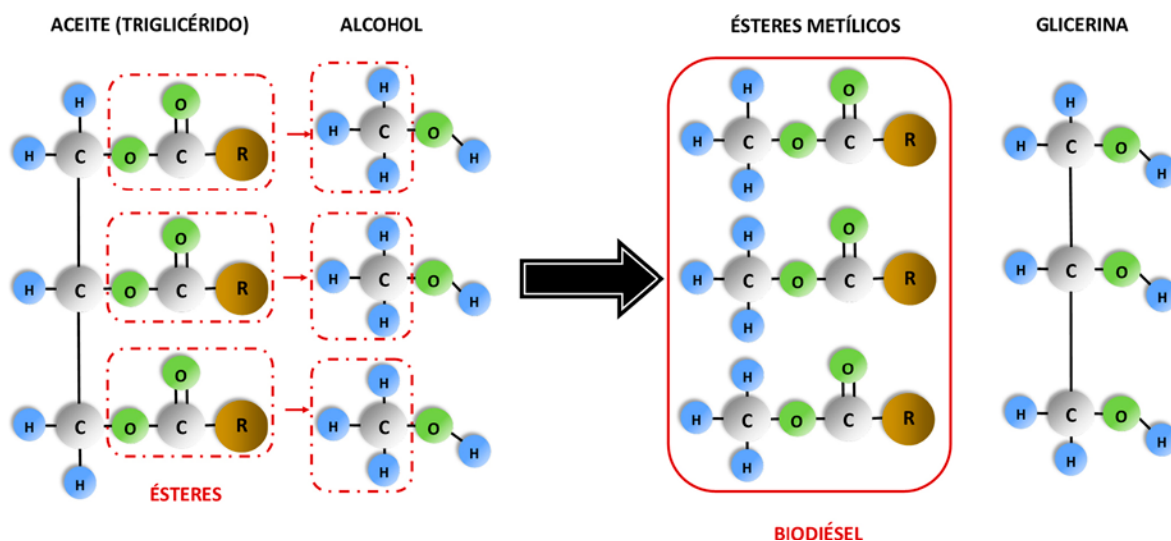


Figura 2. Reacción de transesterificación. Adaptada de García-Bustamante y Masera-Cerutti, 2016.

por lo que se ha desarrollado una nomenclatura única para indicar el porcentaje en volumen del biodiésel presente en las mezclas. Por ejemplo: B2, B5, B20 y B100 son combustibles con una concentración de 2 %, 5 %, 20 % y 100 % de biodiésel, respectivamente. Actualmente existen cuatro concentraciones principales de biodiésel que se utilizan en el mercado de los combustibles: El total biodiésel puro de 100 % (B100), las mezclas de 20 %-30 % (B20 a B30), el aditivo de 5 % (B5) y el aditivo lubricante de 2 % de biodiésel (B2), donde las mezclas B5 (5 %) y B20 (20 %) son las más comunes a nivel mundial (Martínez-Bravo y Masera, 2020).

PROCESO DE PRODUCCIÓN... ¿CÓMO SE HACE?

Existen distintos métodos para la producción de este biocombustible, sin embargo, la transesterificación es el más común, debido a sus bajos costos de operación, flexibilidad para emplear distintas materias primas (aceites puros o residuales), así como su eficiencia en la producción del biodiésel. La transesterificación es una reacción química en cadena donde los triglicéridos (TG), que están presentes en los aceites vegetales o grasas animales, se combinan con un alcohol de bajo peso molecular (usualmente metanol), en presencia de un catalizador adecuado (que puede ser ácido, básico o enzimático), para formar glicerina y una mezcla

de ésteres grasos, que son ya denominados como “Biodiésel” (Leung *et al.*, 2010) (Figura 2).

PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

Actualmente, los cultivos con alto contenido de aceites (oleaginosos) son las fuentes más importantes para producir biodiésel a nivel global, destacando el uso de palma, soya y colza (Martínez-Valencia *et al.*, 2020). Sin embargo, el aprovechamiento de estos materiales como fuentes de bioenergéticos, en lugar de producción de alimentos, genera una polémica social y ética, ya que con los problemas de hambruna que hay en la actualidad es difícil pensar que algunos países (como México) puedan utilizar alimentos con estos fines; debido a esto, han surgido algunos materiales alternativos con buenas opciones para utilizarse en la producción de biodiésel (Figura 3); destacan los aceites no comestibles (como los de jatropha, palma aceitera, higuera, entre otras), así como el uso de microalgas con alto contenido de lípidos. Estas presentan ventajas que evitan la competencia por tierras de cultivos alimentarios, ya que pueden aprovechar áreas remotas e incluso agua de mar (Martínez-Bravo *et al.*, 2020; Verma y Sharma, 2016).



Figura 3. Principales materias primas para la producción de biodiésel Adaptado de Verma y Sharma, 2016.

Y EN MÉXICO... ¿SE PRODUCE BIODIÉSEL?

¿QUÉ MATERIALES SE USAN?

Es necesario comentar que México no es uno de los principales productores de biodiesel a nivel mundial, ya que según el último reporte de la Red Mexicana de Bioenergía (REMBIO) y de la Red Temática de Bioenergía (RTB), el país reportó, hasta diciembre de 2017, que solo existían seis empresas dedicadas a la producción de biodiésel: Grima Biodiesel, Probioram, Enrimex, Cooperativa Agrícola Luz Michell, Biorecen y Ricinomex, que en conjunto presentaron una capacidad de producción de alrededor de 4,182 de metros cúbicos (m³) al año, lo que fue una mínima parte de la producción mundial, que durante ese año fue de aproximadamente 40 millones de metros cúbicos (m³) (García-Bustamante y Masera-Cerutti, 2016).

Por otra parte, en México se utilizan como principales materias primas el aceite de cocina reciclado y, en menor medida, la grasa animal. Estos materiales presentan ventajas, como la generación de valor agregado a un residuo que pudiera representar un contaminante importante; sin embargo, el motivo principal de su uso es el bajo costo del proceso que

implica usar estas materias primas. El uso directo de aceites vegetales representa un tema pendiente y debido a esto, a través de la SAGARPA y en colaboración con instituciones públicas y privadas, se ha desarrollado investigación para impulsar el uso de cultivos en expansión (con altos contenidos de aceite), como: palma aceitera, soya, coco, higuera y jatropha (García-Bustamante y Masera-Cerutti, 2016). Sin embargo, a pesar del alto potencial de estos materiales oleaginosos, aún hay problemas por resolver, sobre todo porque el uso de estas materias primas impacta directamente el costo final del producto, comparado con el uso de los aceites reciclados (García-Bustamante y Masera-Cerutti, 2016).

RESPECTO A LAS NORMAS...

Como se ha comentado, la pureza y la calidad del biodiésel pueden ser afectadas de manera importante por diversos factores como: la calidad de la materia prima, la composición de ácidos grasos de los aceites vegetales y el proceso de producción utilizado; debido a esto puede haber variaciones en las características de biodiésel, lo que ha generado que se busque establecer estándares mínimos de calidad para este biocombustible (Reyes *et al.*, 2012).

Actualmente existen normativas internacionales que ayudan a la regulación de la calidad de biodiesel, destacando la Norma ASTM D6751 de Estados Unidos y la EN 14214 del comité europeo de estandarizaciones. En ellas se establecen límites a parámetros importantes como el número de cetano (eficiencia de la combustión en el motor), la viscosidad, estabilidad de oxidación, desempeño en frío, contenido de contaminantes, etcétera (García-Bustamante y Masera-Cerutti, 2016). México también cuenta con su propia normativa, publicada en el Diario Oficial de la Federación de la ley de Promoción y Desarrollo de los bioenergéticos del 1 de febrero del 2008, donde se presentó la NOM-016-CRE-2016, en la que se definen los lineamientos de la calidad y características para productos como el bioetanol, bioturbosina y el biodiésel.

Un asunto pendiente es el desarrollo de estrategias como los “decretos de uso obligatorios”, donde los gobiernos estipulan mezclas de biodiesel-diésel que deben usarse en su territorio nacional; países como Suecia, Indonesia, Brasil, Colombia y Argentina utilizan mezclas obligatorias de 33, 20, 11, 10 y 9 %, respectivamente. Lo que indica que por cada litro de diésel que se vende, se promueve el uso de biodiésel (Martínez-Valencia *et al.*, 2020). Desgraciadamente, a pesar de que contamos con una normativa de la calidad del producto, en México aún no se cuenta con este tipo de políticas, lo que ayudaría a la promoción del uso de biodiesel nacional y que, además, se traduciría también en una oportunidad importante de hacer negocio (Martínez-Bravo y Masera, 2020).

CONCLUSIÓN

El biodiésel representa una oportunidad para contribuir a disminuir la acumulación de gases de efecto invernadero y por lo tanto el cambio climático. En México se cuenta con un buen potencial de materias primas (aceites y grasas reciclados, así como cultivos oleaginosos) para producir biodiésel; además, ya se desarrolló una normativa pertinente para mantener la calidad del producto, sin embargo, falta ese impulso final para promover el uso de este biocombustible; sin duda, como país tenemos

una oportunidad para que en el futuro se aporte de manera importante a disminuir la huella de carbono y dar impulso a la economía.

REFERENCIAS

- Blumberg KO, Walsh MP y Pera C (2003). Gasolina y Diesel de bajo azufre: La clave para disminuir las emisiones vehiculares. Recuperado de: https://theicct.org/sites/default/files/Bajo_Azufre_Resumen_Ejecutivo_ICCT_2003.pdf.
- Diario Oficial de la Federación (2018). Lineamientos por los que se establecen las especificaciones de calidad y características para etanol anhidro (bioetanol), biodiésel y bioturbosina puros. Recuperado de: <https://catalogonacional.gob.mx/FichaRegulacion?regulacionId=110219>.
- García-Bustamante CA y Masera-Cerutti O (2016). Estado del arte de la bioenergía en México. *Red Temática de Bioenergía*. ISBN: 978-607-8389-11-7.
- Kouzu M and Hidaka JS (2012). Transesterification of vegetable oil into biodiesel catalyzed by CaO: a review. *Fuel* 93:1-12.
- Leung DY, Wu X and Leung MKH (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy* 87(4):1083-1095.
- Martínez-Valencia BB, Díaz-Fuentes VH y Ruíz-Cruz PA (2020). Calidad de aceite de pulpa de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart: alternativa para la producción de biodiesel en México. *Agro Productividad* 13:1.
- Martínez-Bravo RD y Masera O (2020). Perspectivas de disminución de emisiones de carbono en México por el uso de la bioenergía: panorama actual. *Elementos para Políticas Públicas* 4(1):27-42.
- Reyes JA, Sierra GA y García-Núñez JA (2012). Parámetros de calidad del biodiésel de aceite de palma, las mezclas diésel-biodiésel y su incidencia en el desempeño de motores diésel. *Revista Palmas* 33(1):37-52.
- SIAP (2020). Estadística de producción agrícola en México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>. Último acceso: 24 de mayo de 2022.
- Verma P and Sharma MP (2016). Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. *Renewable and sustainable energy reviews* 62:1063-1071.

Mara F. Juárez-Cota
Moisés O. Patiño-Galeana
David U. Santos-Ballardo
Maestría en Ciencias Aplicadas
Universidad Politécnica de Sinaloa
Ingeniería en Energía
Universidad Politécnica de Sinaloa
dsantos@upsin.edu.mx



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2010.

Desaciertos de los biocombustibles en México

Angel Daniel **Ramírez Herrera**

Los últimos gobiernos mexicanos apostaron a las energías renovables como la biomasa, pero sus resultados no fueron alentadores. La utilización de biocombustibles se hace principalmente por la búsqueda de la soberanía energética, para mitigar el cambio climático y aumentar el progreso rural de la nación. No obstante, lejos de procurarlos, esos propósitos se han incumplido.

Todo inició con la aprobación de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB), después con el Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos y, finalmente, con la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016. El objetivo de estas normativas es promover la producción de insumos para bioenergéticos a partir de las actividades agropecuarias, forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos, así como su regulación mediante la creación de la Comisión Intersecretarial para el Desarrollo de los Bioenergéticos, a la par de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la Secretaría de Energía y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Este marco legislativo tiene el fin de reactivar al sector rural mediante la generación del desarrollo regional y de las comunidades rurales menos favorecidas; en otras palabras, está dirigido a los agricultores, productores y comercializadores de biocombustibles, aunque su potencial impacto real en el sector energético, agrícola y económico,

en gran parte desconocido (DOF, 2008). En la actualidad México procesa bioetanol a partir de la caña de azúcar, yuca y sorgo dulce, además de biodiesel derivado de canola, soya, palma africana y *jatropha*.

EL CASO DE SINALOA

En 2006 Zucarmex aprovechó la gran producción de maíz producida en Sinaloa para generar un proyecto con sede en Navolato denominado Destilmex, que planteaba generar bioetanol para exportar a Nuevo México, Arizona y California (García, 2008). En el 2007 ya contaba con el respaldo del gobierno federal del presidente Felipe Calderón, así como un apoyo de 50 millones de pesos de la Secretaría de Agricultura, lo que representaba el 10 % de la inversión total de Destilmex (García, 2008). Sin embargo, al entrar en vigor la LPDB en 2008, que prohíbe la producción de etanol con maíz si no hay excedentes, provocó dificultades tanto a la empresa como al poder ejecutivo (García, 2008).

La SAGARPA retrasó la autorización para la producción de la planta, provocando que el siguiente año, debido a la falta de apoyo en el uso de maíz, intentaran utilizar sorgo como alternativa, pero situaciones climáticas adversas no permitieron la utilización de este grano, llevando finalmente al cierre de Destilmex (Ramírez, 2011).

Este proyecto fracasó principalmente por la crisis de la tortilla sufrida en 2007, la falta de compromiso por parte de gobierno federal y la implementación tardía de la LPDB, lo que generó pérdidas millonarias al igual que el despido de cientos de trabajadores.

EL CASO DE YUCATÁN

A inicios del 2008, empresas como Global Clean Energy Holdings (GCEH) compraron terrenos utilizados para pastoreo de baja intensidad y bosques secundarios, para la obtención de biocombustibles a partir de la siembra de *jatropha*, por ser una planta resiliente (Sacramento *et al.*, 2016). Al comienzo se les prometió a los pobladores empleos altamente



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.

remunerados en las plantaciones por los siguientes 15-30 años, con ingresos mayores a los que tenían y programas sociales que mejoraran su calidad de vida y la de su familia, generando una gran aceptación por la comunidad (Sacramento *et al.*, 2016; Selfa *et al.*, 2015).

Durante el transcurso del proyecto ocurrieron diversos inconvenientes como: a) los pequeños agricultores obtuvieron menos cosechas a causa de que animales silvestres atacaban más vorazmente las milpas para alimentarse, provocado por la GCEH al talar y quemar el Monte Alto (bosque); b) se afectó a los apicultores por la deforestación y el uso extensivo de agroquímicos en el monocultivo de *jatropha*; c) las semillas de *jatropha* utilizadas presentaron baja germinación; d) en el tercer año de la siembra se reportaron diversos patógenos, como *Colletotrichum capsici*, que generó afectaciones en el cultivo reduciendo el rendimiento a unos pocos kilogramos por hectárea (Sacramento *et al.*, 2016; Selfa *et al.*, 2015).

Al cabo de 4-5 años los rendimientos promedios eran más bajos de lo esperado, lo que motivó que las empresas dieran por terminado sus proyectos y liquidaran a todos sus empleados, dejando mayores complicaciones ambientales y sociales en las comunidades que participaron (Selfa *et al.*, 2015).

EL CASO DE CHIAPAS

En el 2007 se creó el Instituto de Bioenergéticos y Energías Alternativas en Chiapas encargado de la promoción de biodiésel en la región, posteriormente se reemplazó en el 2008 por la Unión de Sociedades Bioenergéticas de Chiapas, rigiéndose bajo tres ejes fundamentales: 1) la promoción del cultivo de *jatropha* y la generación del material reproductivo; 2) el procesamiento del aceite, al igual que la producción de biodiésel; y 3) la utilización de biodiésel (Valero *et al.*, 2011).

El gobierno de Chiapas en el 2007 exportó semillas de *jatropha* principalmente de la India y en menor medida de Tailandia, pese a la existencia de germoplasma nacional, domesticado, sin toxicidad y/o riesgos (Castellanos y Jansen, 2017; Soto *et al.*, 2015; Soto *et al.*, 2018). Entre ese mismo periodo y hasta el 2009 se difundió el uso de la *jatropha* por agentes externos, apoyados por la radio y televisión, con la única orden de que las plantaciones se dieran por debajo de los 1000 metros sobre el nivel del mar, además de que su paga sería directamente proporcional a la cantidad de hectáreas que consiguieran para la siembra de la *jatropha* (Soto *et al.*, 2015; Soto *et al.*, 2018). Cabe señalar que no solo el gobierno fue el encargado de la difusión de la *jatropha*, también algunos líderes locales, con motivaciones políticas, se convirtieron en piezas clave para su aceptación e implementación (Soto *et al.*, 2018).

Una vez que se tuvieron los agricultores y ejidatarios participantes, el gobierno proporcionó el material genético de la planta, mientras que la Comisión Nacional Forestal ofrecía subsidios a los productores que consistieron en 120 salarios mínimos (\$6,310 pesos mexicanos) por cada hectárea el primer año, y a partir del segundo año 135 salarios

mínimos (\$7,394 pesos mexicanos); sin embargo, para conseguirlos era necesario tener una plantación con mínimo 1,600 plantas por hectárea y una alta sanidad y vigor (Castellanos y Jansen, 2017; Soto *et al.*, 2015).

Al comienzo, el proyecto gratificaba a todas comunidades involucradas, pero conforme avanzaba se les dio preferencia a las comunidades con mejor infraestructura en comunicación (Soto *et al.*, 2015). Aunado a que durante los primeros años los participantes del proyecto se enfrentaron a numerosos problemas, primordialmente: a) las promesas sumamente optimistas que los agentes externos le presentaron a los productores; b) las bajas tasa de germinación de las semillas exportadas y su reducido crecimiento (un promedio de poco más de 80 cm); c) la falta de capacitación a los productores por parte de los técnicos ante el manejo de las plantaciones y cadenas productivas; d) la heterogeneidad en los suelos de cultivo utilizados por los productores; e) la inestabilidad institucional creó en los productores confusión y pérdida de confianza; f) la incertidumbre generada por los pagos a destiempo; g) la gran cantidad de químicos que eran necesarios para los cultivos, que en un comienzo se plantearon innecesarios; h) la enfermedad del cultivo causado por *Ralstonia solanacearum*, la cual no había sido reportada como patógeno para esa planta (Castellanos y Jansen, 2017; Soto *et al.*, 2015; Soto *et al.*, 2018).

Finalmente, el gobierno de Chiapas optó por abandonar el proyecto y, con ello, a los productores que formaban parte; todo generado, al igual que en Sinaloa y Yucatán, por una mala planeación que trajo consigo más conflictos que soluciones.

CONCLUSIÓN

México no cuenta con la experiencia necesaria en el tema de biocombustibles, ni de un proyecto energético dirigido hacia ellos, por lo que los mecanismos normativos son frágiles e ineficientes. Por ello, la manera en que se implementó la producción y el



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

uso de biocombustibles en los casos mostrados es deleznable y, sin lugar a duda, errónea. Lejos de apoyar el desarrollo nacional solo se agravaron los problemas económicos y sociales, ocasionando que surja una nueva interrogante: ¿es indispensable seguir incluyendo la elaboración de biocombustibles dentro de la agenda nacional, en lugar de apostar por otras fuentes alternativas? Sin lugar a dudas, la respuesta llega a ser compleja y polémica, pero es una cuestión que debería ser debatida tanto por una comunidad académica como por las políticas, con el único fin de beneficiar al desarrollo de los sectores menos favorecidos del país.

Sin embargo, la postura del gobierno en turno, desde su inicio hasta ahora, es una cerrazón total en el tema de los combustibles fósiles, que ignora las opciones de biocombustibles, así como cualquier otra solución climática basada en la naturaleza para la generación energética, por lo cual no se han plasmado iniciativas de políticas públicas para la

reglamentación, uso y/o aprovechamiento de esta tecnología, aunado a que se desconoce completamente si existe continuidad de los proyectos anteriores, así como en la legislación vigente. Todo esto complica más aún una adecuada adopción de los biocombustibles y sus posibles beneficios. Por ende, hasta que no exista un cambio ideológico y/o una apertura al diálogo no será posible realizar un proyecto energético con enfoque integral y holístico hacia la producción de bioenergéticos que coloque en igualdad de condición el bienestar ambiental, la equidad social y la viabilidad económica entre todos los sectores de la sociedad, que vaya orientado más allá de lo que sucede dentro de los límites de la unidad de producción individual.

Por otro lado, debido a la gran cantidad de factores interactuando alrededor de los biocombustibles, es indispensable que se consulte a las ciencias involucradas para determinar aspectos como el área de efecto contraproducente para el ambiente; la vigencia que este proyecto tendrá para sustentar a las poblaciones involucradas; el uso de recursos



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

efectuados en medida que estos generen una viabilidad para ser inversión eficiente; el involucramiento de los gobiernos a partir de una propia normativa sean municipales, estatales o nacionales, entre otros que puedan surgir para que la producción de biocombustibles se vea reflejada en el aumento de la economía rural, así como los beneficios a los consumidores.

REFERENCIAS

- Castellanos NA and Jansen K (2017). Why do smallholders plant bio-fuel crops? The 'politics of consent' in Mexico. *Geoforum* 87:15-27.
- DOF (2008). Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. Recuperado de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lpdb.htm>.
- García I (2008). Encara dilema legal planta de bioetanol. Recuperado de: https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?_rval=1&urlredirect=https://busquedas.gruporeforma.com/reforma/Documento/Web.aspx?id=938550|ArticulosGC_Reforma.
- Ramírez M (2011). Prevén cierre en el país única planta de etanol. Recuperado de: https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?_rval=1&urlredirect=https://busquedas.grupo-reforma.com/buscador/reforma/documentos/VisorArticulos.aspx?slidIdentificadorParm=1251712|0|11|2|ArticulosGC_Reforma.
- Sacramento RJC, Eastmond SA, Becerril GJ and Navarro PFS (2016). A Three-Dimensional Sustainability Evaluation of *Jatropha* Plantations in Yucatan, Mexico. *Sustainability* 8:1-18.
- Selfa T, Bain C, Moreno R, Eastmond A, Sweitz S, Bailey C, Simas PG, Souza T and Medeiros R (2015). Interrogating Social Sustainability in the Biofuels Sector in Latin America: Tensions Between Global Standards and Local Experiences in Mexico, Brazil, and Colombia. *Environmental Management* 56:1315-1329.
- Soto I, Achten WMJ, Muys B and Mathijs E (2015). Who benefits from energy policy incentives? The case of *jatropha* adoption by smallholders in Mexico. *Energy Policy* 79:37-47.
- Soto I, Ellison C, Kenis M, Diaz B, Muys B and Mathijs E (2018). Why do farmers abandon *jatropha* cultivation? The case of Chiapas, Mexico. *Energy for Sustainable Development* 42:77-86.
- Valero PJ, Cortina VHS y Vela CMP (2011). El proyecto de biocombustibles en Chiapas: experiencias de los productores de piñón (*Jatropha curcas*) en el marco de la crisis rural. *Estudios Sociales* 19:120-144.

Angel Daniel Ramírez Herrera
Doctorado en Ciencias en Conservación
del Patrimonio Paisajístico
Centro Interdisciplinario de Investigación
para el Desarrollo Integral Regional, IPN
Unidad Michoacán
aramirezh1806@alumno.ipn.mx



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

Las plantas que pueden o no hacer fotosíntesis: las parásitas

Francisca Morayna **Gutiérrez Luna**
Sonia **Vázquez Santana**

¿A cuántos de nosotros, al pensar en parásitos, se nos viene una planta a la mente? Siempre que pensamos en plantas imaginamos plantas verdes, con hojas que hacen fotosíntesis.

Asimismo, cuando pensamos en parásitos vienen a nuestra mente organismos como hongos, bacterias, protozoarios o pequeños animales que dañan a otros organismos; sin embargo, existen las plantas parásitas que dependen de otras plantas (los hospederos) para sobrevivir y las van matando lentamente al extraer de ellas los recursos que elaboran durante la fotosíntesis (fotosintatos) y el agua con iones disueltos que absorben a través de sus raíces y distribuyen a los tejidos del hospedero.

Las plantas parásitas al penetrar los tejidos vivos de los hospederos extraen los nutrimentos y el agua. La característica que distingue a todas las plantas parásitas es el *haustorio*, una estructura que básicamente es un puente fisiológico y morfoanatómico de conexión parásita-hospedero, que representa a raíces altamente modificadas, con el cual se logra la conexión entre los tejidos conductores (xilema y floema) de la planta parásita y los de la planta hospedera (Heide-Jørgensen, 2008).

LA DIVERSIDAD DE PLANTAS PARÁSITAS

Dentro de la gran diversidad de plantas que existe en el planeta, hay un grupo de plantas muy raras y poco conocidas que parasitan a otros grupos de plantas y comprenden aproximadamente 4,500 especies (Heide-Jørgensen, 2011). La mayoría de estas plantas parásitas pertenecen a diversos linajes de las angiospermas (aquellas plantas que producen flores y frutos con semillas, como el tomate y las legumbres) y a una especie de las gimnospermas (plantas que producen semillas desnudas en conos o estróbilos, como los pinos, por lo tanto, no forman flores ni frutos).

Las plantas parásitas están distribuidas principalmente en las zonas tropicales y subtropicales del mundo y se clasifican en dos grupos principales. Uno de ellos está formado de parásitas que aún conservan algunos órganos y tejidos verdes (tallos y hojas) con capacidad de hacer fotosíntesis conocidas como hemiparásitas, un ejemplo muy conocido de este grupo son los muérdagos que parasitan los tallos de muchas especies de árboles de bosques o de áreas urbanas; o bien, hemiparásitas, de raíces de especies de gran importancia económica, como muchas hortalizas, el maíz, la caña de azúcar, el trigo, la papa, el tabaco, el tomate, el sorgo, el arroz, el mijo y la cebada; a este grupo de parásitas se asocian cerca de 20 especies que causan considerables estragos en las plantas parasitadas y grandes pérdidas económicas.

El otro grupo de parásitas lo conforman aquellas que han perdido en su totalidad la capacidad de hacer fotosíntesis, que carecen de hojas y generalmente de tallos y raíces, se conocen como holoparásitas, a este grupo pertenecen las parásitas más raras y menos abundantes, con aproximadamente 390 especies (Heide-Jørgensen, 2011). Las plantas holoparásitas presentan la mayor reducción del cuerpo vegetativo.

Las que han perdido los órganos vegetativos como raíces y hojas, pero siguen conservando tallos modificados no fotosintéticos que mantienen

contacto con el medio exterior, son las plantas parásitas del género *Cuscuta* (Convolvulaceae).

Pero existen las más extremas de todas las holoparásitas, las que han perdido raíces, tallos y hojas y toda su vida se mantienen dentro del hospedero, los tallos se reducen a unas cuantas células filamentosas que crecen en el interior de la planta hospedera, lo único evidente de ellas son sus flores o inflorescencias (agregado de flores), cuando estas salen del hospedero para reproducirse sexualmente.

Emergen al exterior una o dos veces por año para reproducirse.

A los órganos vegetativos que componen una planta parásita se les llama endófitos y corresponden al tejido que se encuentra dentro del hospedero, mientras que a los órganos externos de la planta parásita, como las flores o inflorescencias, se les denomina exófitos.

En este último grupo de holoparásitas extremas es donde se encuentra una gran diversidad de plantas raras e impresionantes, como aquellas que producen las flores más grandes del mundo, las cuales llegan a medir hasta un metro de diámetro, como ocurre en la *Rafflesia arnoldi* (Rafflesiaceae), una especie que vive en Indonesia y que llega a pesar hasta 10 kilogramos (Ver Figura 1).



Figura 1. Planta holoparásita *Rafflesia arnoldi* (Rafflesiaceae). Ilustración: Diego Cruz-Vázquez.

¿CÓMO SE ALIMENTAN?

Desde pequeños nos enseñan que las plantas son autótrofas, es decir, que son capaces de producir su propio alimento sintetizando carbono y usando la luz del Sol a través de la fotosíntesis; sin embargo, hay un grupo no tan pequeño de plantas que ha perdido casi todos sus genes relacionados con su maquinaria fotosintética, por lo que no puede hacer fotosíntesis, es decir, ya no tiene la capacidad de usar la luz del Sol para sintetizar carbono y nutrirse; esas plantas han desarrollado evolutivamente otro modo de nutrirse, utilizan a otras plantas a las que parasitan para extraer carbohidratos, minerales y agua y se llaman heterótrofas. Además, han perdido sus raíces y el agua también la toman de su hospedero. Estas plantas han perdido todos sus órganos verdes como los conocemos, tallos y hojas, pero han desarrollado un tejido vegetativo llamado haustorio (Heide-Jørgensen, 2008), que crece entre las células de los tallos o raíces del hospedero y le permite a la planta parásita tomar, tanto agua, glucosa y otros azúcares, como minerales, entre otros nutrimentos que les ayudarán a crecer, y en algún momento, formar flores y reproducirse. Para ir penetrando el tejido son muy importantes las enzimas que son producidas por la parásita y que son responsables de penetrar y moldear el tejido del hospedero y establecerse.

Una característica importante y casi generalizada de estas plantas es que solo parasitan un tipo de hospedero, y aunque están tomando sus recursos, tardan mucho en hacerle daño; algunas incluso pueden reproducirse múltiples veces antes de que su planta hospedera muera, sin embargo, causan una reducción en el vigor de la planta que parasitan, evitando que estas últimas lleguen a reproducirse (Yoshida *et al*, 2016).

¿CÓMO SE REPRODUCEN LAS PLANTAS PARÁSITAS?

La reproducción es un aspecto importante en la supervivencia de una especie, todos los organismos invierten muchos recursos para dejar descendencia y las plantas parásitas no son la excepción; aunque

perdieron la mayoría de sus funciones esenciales, siguen teniendo intacta su capacidad de reproducirse. Este tipo de plantas aún mantienen sus órganos reproductivos sin cambios, es decir, producen flores con polen y óvulos fértiles. En la mayoría de las plantas parásitas las flores o las inflorescencias son el único contacto con el ambiente. Sus sistemas reproductivos pueden ser dioicos, es decir, tienen flores femeninas (productoras de ovarios y óvulos) y masculinas (productoras de estambres y granos de polen) en individuos separados; o presentar sistemas monoicos, lo que significa que tanto los ovarios como los estambres están en la misma flor de cada individuo. Aunque se desconoce cómo y cuándo las plantas parásitas producen sus flores, se cree que usan como estímulo las hormonas de la planta hospedera para producir sus propias flores, por lo que algunas de las parásitas florecen al mismo tiempo que el hospedero o posterior a él. El tamaño de las flores varía, desde flores muy pequeñas de 2 mm, como las de algunas especies de *Pilosyles* de la familia Apodanthaceae, o flores muy grandes de hasta un metro de diámetro, como las de *Rafflesia* (la flor más grande de las angiospermas!)

La forma en la que las flores atraen a los polinizadores es mediante su color y su aroma, y las plantas parásitas no se quedan atrás, estas plantas llegan a tener desde colores llamativos, generalmente rojizos, así como aromas dulces, canelosos o pestilentes para atraer generalmente a moscas, aunque también pueden atraer abejas, avispa y escarabajos, entre otros visitantes florales. La diversidad reproductiva de las plantas parásitas es tan amplia como la de muchas plantas fotosintéticas y presentan diversidad floral (Figura 2).

EL PAPEL DE LAS PLANTAS PARÁSITAS EN EL ECOSISTEMA

Todos los organismos de la Tierra estamos conectados directa o indirectamente, esta interacción es necesaria para mantener un equilibrio en los ecosistemas, por lo que todas las interacciones juegan un papel muy importante en la naturaleza.



Figura 2. Plantas parásitas de México. A) Planta holoparásita *Bdallophytum americanum*, B) Planta holoparásita *Pilostyles thurberi*, C) Planta hemiparásita *Psittacanthus* sp., D) Planta hemiparásita *Cuscuta* sp., E) Planta holoparásita *Mitrastemon matudae*, F) Planta holoparásita *Conopholis alpina* var. *mexicana*, G) Planta hemiparásita *Arceuthobium* sp., H) Planta holoparásita *Bdallophytum andrieuxii*, I) Planta holoparásita *Pilostyles mexicana*, J) Planta holoparásita *Pilostyles maya*. Fotos tomadas por: Pactli F. Ortega-González, Sandra Ríos-Carrasco y F. Morayna Gutiérrez-Luna.

Aunque el nombre de parásito pareciera indicar daño, los parásitos son muy importantes en la naturaleza. Una gran cantidad de seres vivos en el planeta son parásitos y es un tipo de vida muy exitoso que está representado en grupos muy diversos de la diversidad biológica. Los parásitos son fundamentales para el equilibrio de los ecosistemas debido a que regulan el crecimiento de las poblaciones de otros individuos con los que interactúan. Las plantas no son la excepción, pueden ser parasitadas por otras plantas, esta acción provoca cambios morfológicos y fisiológicos regulados por la planta parásita que, a pesar de no ser un elemento dominante en los ecosistemas, tienen un efecto positivo en su interacción con otros individuos, permitiendo que el crecimiento de la población de hospederos sea estable y que otras plantas que crecen alrededor del hospedero proliferen. Asimismo, se ha encontrado que ocurre intercambio de genes entre las plantas parásitas y las plantas hospederas. Esta transferencia de genes no es a través de la herencia, se conoce como transferencia horizontal de genes, lo cual implica un intercambio de genes entre las parásitas y las hospederas a través de los tejidos conductores interconectados (Wickell y Li, 2020). Muchos de estos genes transferidos de la parásita a la hospedera le pueden conferir a esta última, por

ejemplo, resistencia a la sequía, a metales pesados y defensa contra otros patógenos (Xi *et al.*, 2012).

En la naturaleza, todos los organismos tienen un papel fundamental para mantener el ciclo de la vida que, aunque a algunos organismos se les atribuye un papel antagónico, todos juegan un papel primordial para mantener el equilibrio de los ecosistemas.

¿CÓMO SON LAS PLANTAS PARÁSITAS EN MÉXICO?

Dentro de la gran diversidad de organismos que existe en México, las plantas parásitas ocupan un espacio importante. Están representadas ocho de las diecinueve familias tanto de hemiparásitas como holoparásitas. Las más conocidas de las hemiparásitas son los muérdagos, que pertenecen al género *Arceuthobium* (Santalaceae), así como otros géneros como *Phoradendron* (Santalaceae) o *Cladocolea* (Loranthaceae), o el género *Cuscuta*, el cual comprende varias especies de plantas holoparásitas que provocan daños en cultivos, bosques o arbolados urbanos. También encontramos otros géneros *no tan conocidos* del grupo de las holoparásitas, como *Pilostyles* (Apodanthaceae), *Bdallophytum* (Cytinaceae) y *Mitrastemon* (Mitrastemonaceae), que son parásitas totalmente dependientes de sus hospederos, pero de las cuales aún no se sabe el impacto que su parasitismo puede ejercer sobre las especies de plantas que parasitan.

Sus flores crecen bajo la corteza de los tallos en el caso de las especies de *Pilosyles*, y bajo la corteza de las raíces en el caso de las especies de *Bdallophytum* y *Mitrastemon*; solamente son visibles una o dos veces al año, cuando emergen sus flores. La generación de conocimiento de las plantas parásitas, sobre todo las holoparásitas en México, aún está en proceso, pero siendo un país megadiverso, aún se esperan muchas sorpresas por descubrir en lo que a plantas parásitas se refiere.

CONCLUSIONES

La diversidad biológica del planeta Tierra nos sigue asombrando y las estrategias de sobrevivencia y adaptación de los seres vivos son muy amplias, existen desde organismos autótrofos como la mayoría de las plantas, organismos heterótrofos como la mayoría de los animales y distintos tipos de asociaciones entre diferentes organismos como el parasitismo. Aunque generalmente asociamos a las plantas como organismos autótrofos que producen sus propios alimentos y son la base de la cadena trófica, ahora sabemos que dentro de este grupo de seres vivos tan amplio y diverso, también hay plantas que no son capaces de producir sus propios alimentos y que utilizan otras plantas para tomar sus nutrimentos esenciales para desarrollarse, mantener sus poblaciones y lograr reproducirse; sin lugar a dudas, la naturaleza no es estática, ni predecible y seguirá sorprendiéndonos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el financiamiento otorgado por PA-PIIT-DGAPA UNAM a SVS (proyectos IN 223118, IN 222021) y al Programa de Becas Posdoctorales DGAPA-UNAM por la beca otorgada a FMGL.

REFERENCIAS

- Heide-Jørgensen HS (2008). *Parasitic Flowering Plants*. The Netherlands: Brill Academic Publishers.
- Heide-Jørgensen HS (2011). Encyclopedia of Biological Invasions. University of California Press (Ed.) *Parasitic Plants*. (pp. 504-510). University of California, Berkeley, Los Angeles, CA.



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

Wickell DA and Li FW (2020). On the evolutionary significance of horizontal gene transfers in plants. *New Phytologist* 225:113–117.

Xi Z, Bradley RK, Wurdack KJ, Wong KM, Sugumaran M, Bombliies K, Rest JS and Davis CC (2012). Horizontal transfer of expressed genes in a parasitic flowering plant. *BMC Genomics* 13:227.

Yoshida S, Cui S, Ichihaashi Y and Shirasu K (2016). The haustorium, a specialized invasive organ in parasitic plants. *Annual Review of Plant Biology*. 67:643–667.

Francisca Morayna Gutiérrez Luna

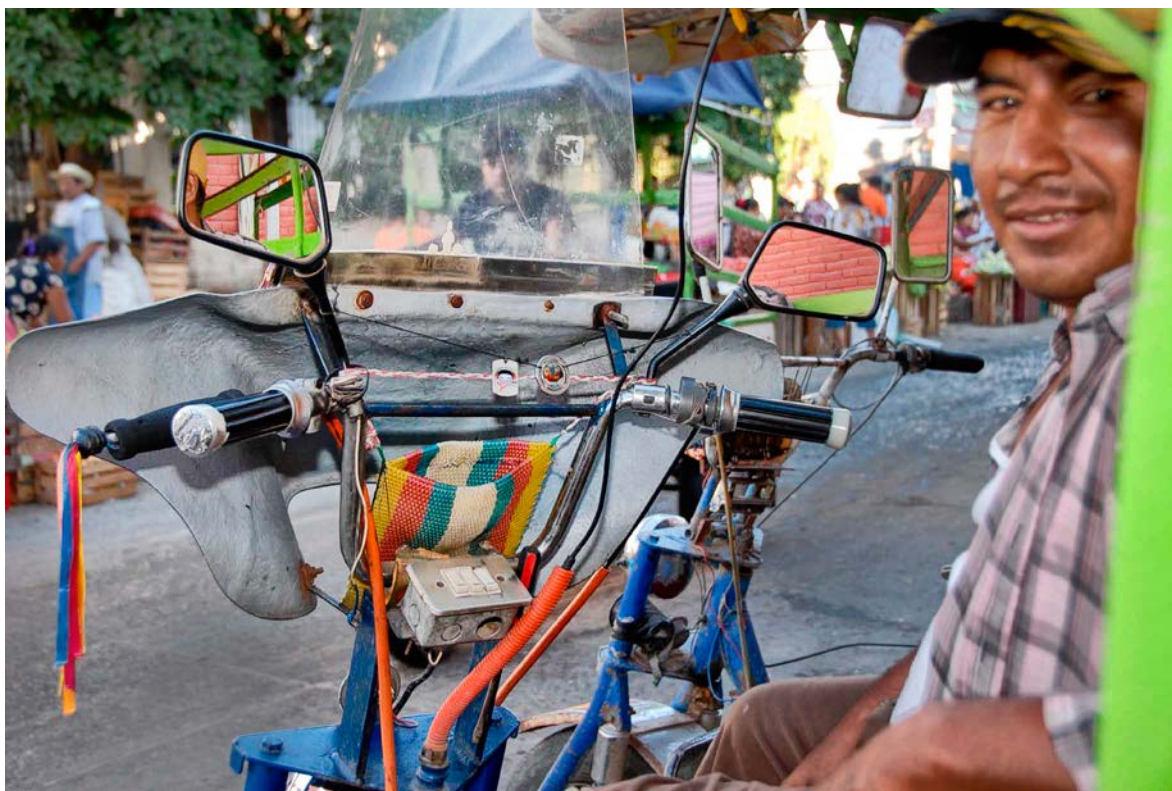
Sonia Vázquez Santana

Departamento de Biología Comparada

Facultad de Ciencias

Universidad Nacional Autónoma de México

svs@ciencias.unam.mx



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

Resistencia antimicrobiana desde la perspectiva de “Una salud”

Nadia **Rodríguez-Medina**
Ulises **Garza-Ramos**

El propósito de estudiar a los animales en el siglo XVIII fue extrapolar el conocimiento de la medicina animal para “entender”, o más bien, tener un acercamiento a la medicina humana, por lo que la medicina animal y humana en algún momento de la historia estuvieron ligadas. Mucho de lo que se aprendió de la medicina humana fue gracias al estudio e investigación en los animales (Ryu *et al.*, 2017). Tan es así, que en el siglo XIX las escuelas de medicina veterinaria y medicina humana estaban juntas, y la investigación se llevaba a cabo en ambos campos sin límites disciplinarios. En la década de 1970, el epidemiólogo William Foege, quien participó activamente para erradicar la viruela, dijo: “No puedes contar la historia de la salud humana sin incluir la salud animal y la salud ambiental” (Ryu *et al.*, 2017). Desde entonces, se dejó por sentado que la salud de los humanos, de los animales y de los ecosistemas están interconectadas; ahora conocida como “Una salud”.

“Una salud” es un enfoque integrativo que busca, a través de intervenciones multisectoriales y colaborativas, abordar los riesgos existentes o potenciales que se originan en la interfaz humano-animal-ecosistema, con el fin de alcanzar una mejor salud global y una respuesta eficaz ante amenazas contra la salud pública (Ryu *et al.*, 2017). Este

enfoque tomó mayor importancia en años recientes, cuando se reconoció que la expansión poblacional, el cambio climático, el comercio y la facilidad de realizar viajes internacionales, entre otros factores, han cambiado o moldeado drásticamente las interacciones entre los humanos, los animales y los ecosistemas. Esto conllevó no solo a la aparición de patógenos emergentes y reemergentes (como fue el caso de las pandemias de influenza aviar H5N1 en el 2003, y de gripe porcina H1N1 en el 2009, o la enfermedad por el virus Ébola en el periodo 2014-2016), sino que también se ha favorecido el intercambio de información genética entre los microorganismos (bacterias, virus y parásitos) que forman parte de estas interfaces.¹ Las áreas prioritarias que tiene “Una salud” es la seguridad alimentaria, el control de zoonosis (por ejemplo, rabia, influenza aviar, fiebre del valle de Rift, por mencionar algunas) y el control y combate contra la resistencia antimicrobiana. Nos enfocaremos en esta última, aunque la seguridad alimentaria y las zoonosis están ligadas con la resistencia antimicrobiana.²

ANTIBIÓTICOS: UN RECURSO NO RENOVABLE

Alexander Fleming revolucionó el campo de la medicina y la microbiología al descubrir un compuesto capaz de inhibir el crecimiento de bacterias. La penicilina, llamada así por provenir del hongo *Penicillium rubens*, fue el primer antibiótico natural utilizado para combatir infecciones bacterianas. Antes del descubrimiento de la penicilina existían dos compuestos químicos (Salvarsán y Neosalvarsán) que se utilizaban para el tratamiento de la sífilis, una infección de transmisión sexual ocasionada por la bacteria *Treponema pallidum*. Sin embargo, no fue hasta 20 años después que Alexander Fleming dio vida a la visión de Paul Ehrlich (descubridor del salvarsán) acerca de encontrar “la bala mágica”, que al colaborar con otros grupos de investigación se logró purificar y producir a gran escala como la penicilina, lo cual permitió que fuera usada en el ambiente clínico (Gaynes *et al.*, 2017).



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.

Los antibióticos son compuestos producidos por bacterias y por hongos que tienen la capacidad de inhibir o matar bacterias. Sin antibióticos efectivos y seguros muchas de las terapias que existen actualmente serían muy riesgosas. Tratar pacientes con cáncer, realizar cirugías y trasplantes de órganos, entre otros, se convertirían en un reto, ya que la sobrevivencia del paciente dependería completamente del papel de nuestro sistema de defensa; de aquí el uso obligado de los antibióticos que permite proteger a los pacientes en recuperación.

No obstante, Alexander Fleming, en su discurso del premio Nobel, enfatizó lo fácil que las bacterias desarrollan resistencia a los antibióticos, en este caso a la penicilina, y envió una alerta afirmando:

Puede llegar el momento en que cualquiera pueda comprar penicilina en las tiendas. Luego existe el peligro de que el hombre ignorante se administre fácilmente una dosis insuficiente y, al exponer sus microbios a cantidades no letales de la droga, adquiera la resistencia.

Actualmente, los antibióticos efectivos se limitan debido a la aparición de bacterias multirresistentes (MDR); esto genera que la elección de un tratamiento adecuado se convierta en un reto. En este contexto, la resistencia antimicrobiana constituye una amenaza para la salud global.

RESISTENCIA ANTIMICROBIANA

Diversos estudios han documentado que el uso de antibióticos en la producción animal como promotores de crecimiento contribuye a la selección de bacterias resistentes, lo que conlleva a una falla terapéutica al combatir infecciones bacterianas (Bates *et al.*, 1994).

Después de la Segunda Guerra Mundial, los antibióticos como promotores de crecimiento fueron implementados como sustitutos de proteínas. En ese momento se investigó si el uso de vitaminas pudiera tener efectos considerables en el crecimiento del ganado; pero fueron los antibióticos los que produjeron aumentos notables en la tasa de crecimiento, disminución en la mortalidad y, por consiguiente, una mayor productividad. Desde entonces, la suplementación con antibióticos se adoptó en varios países como una práctica rutinaria en la industria animal. Por ejemplo, en 1970 el uso de avoparcina, un glucopéptido relacionado con la vancomicina, fue implementado en Europa para la engorda de animales (Bates *et al.*, 1994). Sin embargo, a finales de 1980, la emergencia de *Enterococcus faecium* resistente a vancomicina se asoció a infecciones hospitalarias; posteriormente, esta cepa resistente fue encontrada en carne de cerdo para consumo humano. Se dio a conocer que el uso de avoparcina fue el detonante que favoreció la emergencia de la bacteria *E. faecium* resistente a vancomicina (Bates *et al.*, 1994). A mediados de la década de 1960, surgieron en Reino Unido cepas de *Salmonella enterica* serovar *typhimurium* MDR que se propagaron del ganado a los humanos (Tran-Dien *et al.*, 2018). Actualmente se reportan casos de contaminación por bacterias multirresistentes en comida lista para el consumo humano, algunos ejemplos son el brote de *S. enterica* serotipo *enteritidis*, asociado a huevos importados de Polonia, y la identificación de especies de *Klebsiella* sp., portadoras de carbapenemasas encontradas en vegetales frescos importados (Pijnacker *et al.*, 2019; Zurfluh *et al.*, 2015). Este escenario no solo refleja el papel de la producción y el comercio internacional como rutas para la diseminación de genes de resistencia a antibióticos, sino que también apunta al hecho de que la comida –ya sea

de origen animal o vegetal– puede ser un reservorio importante de genes de resistencia a antibióticos.

El incremento de la resistencia antimicrobiana es mayor en países de bajo y mediano ingreso; esto es así en parte porque las políticas de regulación en el uso de antibióticos no son estrictas o no existen (Alvarez-Uria *et al.*, 2016). Es alarmante que todavía existan algunos países en que es posible tener acceso a antibióticos sin una prescripción médica, como es el caso de Ecuador (Salinas *et al.*, 2019). Adicionalmente, en estos países, el contacto con desechos de animales (que son usados como fertilizantes para cultivos) y aguas negras, o la convivencia en un mismo espacio con animales de granja, favorece la transmisión y la propagación de bacterias multirresistentes. Un estudio reciente evaluó si cepas de *Escherichia coli*, comensales de niños, estaban relacionadas genéticamente o compartían los mismos plásmidos con las *E. coli* de animales domésticos en la misma comunidad. Del total de muestras analizadas (niños y animales) se identificaron 25 cepas multirresistentes. En este estudio se determinó que las cepas de humanos y animales domésticos fueron genéticamente diversas, pero compartían los mismos genes de resistencia a antibióticos. Esto se debió al papel que juegan los plásmidos en la diseminación de dichos genes; incluso, en algunos casos, se identificaron los mismos genes de resistencia en contextos genéticos distintos (Salinas *et al.*, 2019).

Por otro lado, los suelos representan uno de los mayores reservorios de microorganismos. El microbioma del suelo es complejo y dinámico; algunos de los microorganismos que ahí habitan participan en procesos cruciales para la vida, como el ciclo de carbono o el del nitrógeno. El suelo también es considerado como un ambiente favorable para la evolución y desarrollo de las resistencias a antibióticos y metales pesados (Armalyte *et al.*, 2019). Un gran porcentaje de los antibióticos para uso en humanos y animales son descargados en ríos o suelos, por lo que estos se encuentran contaminados con antibióticos. La concentración de antibióticos

en los suelos usualmente es baja, pero incluso estas concentraciones bajas pueden ser suficientes para que las bacterias desencadenen respuestas ante la presencia de antibióticos; es decir, evolucionen para adquirir la resistencia a una o más clases de antibióticos. Un estudio reciente que comparó la diversidad microbiana y el resistoma en dos tipos de suelo (convencionales y orgánicos; es decir, en los que se usa fertilizante inorgánico o de origen natural, respectivamente), mostró pequeñas diferencias entre la composición de especies bacterianas que para ambos tipos de suelo. Las especies más prevalentes fueron *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Acidobacteria*, *Firmicutes* y *Bacteroidetes*. Se identificaron genes de resistencia a antibióticos β -lactámicos, aminoglucósidos, tetraciclina y eritromicina indistintamente por tipo de suelo (Armalyte *et al.*, 2019).

REINTRODUCCIÓN DE ANTIBIÓTICOS:

EL CASO DE LA COLISTINA

La colistina es un antibiótico que pertenece a la familia de las polimixinas. Su uso en la medicina humana comenzó a mediados de 1950, pero se retiró poco después debido a su nefrotoxicidad, por lo que fue reemplazada por antibióticos menos tóxicos como los β -lactámicos, los aminoglucósidos y las quinolonas (Rodríguez-Santiago *et al.*, 2021).

El aumento en la incidencia de bacterias MDR y la falta de nuevos antibióticos dieron pie a la reintroducción de la colistina a mediados de la década de 1990 para tratar casos específicos; por ejemplo, para infecciones urinarias y para poblaciones especiales, como aquellas que padecen fibrosis quística.

Actualmente este antibiótico es catalogado como último recurso contra bacterias MDR. Sin embargo, tal como Alexander Fleming lo había dicho, ya se han descrito bacterias resistentes a la colistina debido a los genes *mcr* (*mobile colistin resistance*, por sus siglas en inglés) y modificaciones en genes que controlan diversos procesos celulares, como *mgrB* y *phoPQ* (Rodríguez-Santiago *et al.*, 2021). Opuesto al panorama en medicina humana, la colistina se ha

usado ampliamente durante décadas en medicina veterinaria para tratar y prevenir infecciones. Se usa principalmente para tratar infecciones intestinales causadas por *E. coli* en aves y cerdos. Además, la colistina se utiliza como promotor de crecimiento, práctica que es muy común en varias partes del mundo. En 2011, las polimixinas ocuparon el quinto lugar como los antimicrobianos más vendidos para el tratamiento de infecciones en animales destinados a la producción de alimentos en Europa (Rodríguez-Santiago *et al.*, 2021).

Algunos estudios han demostrado la transmisión de bacterias resistentes a colistina de animales de granja hacia los humanos. El uso de la colistina en el sector veterinario y de producción animal para el consumo humano está bajo revisión; tan es así que en China se decidió prohibir el uso de colistina como un aditivo para suplementar el alimento para animales de granja. Además, la Agencia Europea de Medicamentos publicó un documento en el que se brindan recomendaciones actualizadas sobre el uso de colistina en animales dentro de la Unión Europea (Rodríguez-Santiago *et al.*, 2021).

ESTRATEGIAS PARA COMBATIR

LA RESISTENCIA ANTIMICROBIANA

Hasta aquí se ha mostrado un panorama general que aborda las consecuencias de las malas prácticas en el uso de antibióticos; ante esto, ¿qué estrategias se han creado para contrarrestar los efectos de la resistencia antimicrobiana en la interfaz humano-animal-ecosistema? La Organización Mundial de la Salud, el Centro de Control y Prevención de Enfermedades y la Organización Panamericana de Salud, entre otras,³ han implementado programas de intervención (*stewardship programs*) en las tres interfaces de “Una salud” para un uso responsable de los antibióticos. Esto involucra realizar una serie de acciones como evaluar y mejorar la adherencia a tratamientos antimicrobianos, evaluar las dosis proporcionadas, mejorar la terapia empírica con base en guías locales, tener un diagnóstico certero del agente patógeno, evaluar los perfiles de resistencia a nivel hospitalario para fortalecer o establecer guías locales



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007

(Dyar *et al.*, 2017). Todas estas acciones tienen como objetivo influir en el comportamiento de quienes prescriben antibióticos (médicos, odontólogos, veterinarios, entre otros) y sensibilizar a la sociedad.

CONCLUSIONES

Humanos, animales y el medio ambiente estamos en estrecha interacción, por lo que alteraciones en una de las tres interfaces impacta la salud de todos. Todos los días estamos en contacto e interactuando con los microorganismos (virus, bacterias y parásitos) propios de cada interfaz. Aún queda mucho por hacer y es claro que combatir la resistencia antimicrobiana no es un problema que solo involucre a los humanos; desde la perspectiva de “Una salud”, la interfaz animal-medio ambiente juega un papel fundamental, y el estudio de la interacción entre estas interfaces es esencial para proponer y desarrollar nuevas estrategias que aborden el problema de la resistencia antimicrobiana.

Otra de las acciones que debería ser incluida homogéneamente como parte de los programas de intervención, es la formación de recursos humanos en el área de la salud; es decir, ¿es el acceso a la información sobre uso responsable de antibióticos homogéneo para todas las áreas de la salud? Un sector crítico, por ejemplo, son los odontólogos quienes, además de los médicos, tienen la capacidad de prescribir antibióticos; durante su formación debe fortalecerse el conocimiento acerca del uso adecuado de los antimicrobianos. Incluso, entre las especialidades de la medicina humana, este conocimiento está sesgado a quienes están en el área de infectología.

REFERENCIAS

- Alvarez-Uria G, Gandra S and Laxminarayan R (2016). Poverty and prevalence of antimicrobial resistance in invasive isolates. *Int J Infect Dis* 52:59-61. doi:10.1016/j.ijid.2016.09.026.
- Armalyte J, Skerniskyte J, Bakiene E, Krasauskas R, Siugzdiniene R, Ka-reiviene V, *et al.* (2019). Microbial Diversity and Antimicrobial Resistance Profile in Microbiota From Soils of Conventional and Organic Farming Systems. *Front Microbiol* 26;10:892. doi: 10.3389/fmicb.2019.00892.
- Bates J, Jordens JZ and Griffiths DT (1994). Farm animals as a putative reservoir for vancomycin-resistant enterococcal infection in man. *J Antimicrob Chemother* 34(4):507-14. doi: 10.1093/jac/34.4.507.
- Dyar OJ, Huttner B, Schouten J and Pulcini C (2017). What is antimicrobial stewardship?. *Clin Microbiol Infect* 23(11):793-8.
- Gaynes R (2017). The Discovery of Penicillin –New Insights After More Than 75 Years of Clinical Use. *Emerg Infect Dis* 23(5):849-53.
- Pijnacker R, Dallman TJ, Tijsma ASL, Hawkins G, Larkin L and Kotila SM (2019). An international outbreak of Salmonella enterica serotype Enteritidis linked to eggs from Poland: a microbiological and epidemiological study. *Lancet Infect Dis* 19(7):778-786. doi: 10.1016/S1473-3099(19)30047-7.
- Rodríguez-Santiago J, Cornejo-Juárez P, Silva-Sánchez J and Garza-Ramos U (2021). Polymyxin resistance in Enterobacterales: overview and epidemiology in the Americas. *Int J Antimicrob Agents* 58(5):106426. doi: 10.1016/j.ijantag.2021.106426.
- Ryu S, Kim BI, Lim JS, Tan CS and Chun BC (2017). One Health Perspectives on Emerging Public Health Threats. *J Prev Med Public Health* 50(6):411-4. doi:10.3961/jpmph.17.097.
- Salinas L, Cardenas P, Johnson TJ, Vasco K, Graham J and Trueba G (2019). Diverse Commensal *Escherichia coli* Clones and Plasmids Disseminate Antimicrobial Resistance Genes in Domestic Animals and Children in a Semirural Community in Ecuador. *mSphere* 22:4(3). doi: 10.1128/mSphere.00316-19.



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2013.

Tran-Dien A, Le Hello S, Bouchier C and Weill FX (2018). Early transmissible ampicillin resistance in zoonotic *Salmonella enterica* serotype Typhimurium in the late 1950s: a retrospective, whole-genome sequencing study. *Lancet Infect Dis* 18(2):207-214. doi: 10.1016/S1473-3099(17)30705-3.

Zurfluh K, Poirel L, Nordmann P, Klumpp J and Stephan R (2015). First detection of *Klebsiella variicola* producing OXA-181 carbapenemase in fresh vegetable imported from Asia to Switzerland. *Antimicrob Resist Infect Control*. 6:4:38. doi: 10.1186/s13756-015-0080-5.

NOTAS

¹ [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/influenza-\(avian-and-other-zoonotic\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/influenza-(avian-and-other-zoonotic)).

² <https://www.cdc.gov/onehealth/basics/index.html>.

³ <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/directory-guidance-prevention-and-control/prudent-use-antibiotics/antimicrobial>.

GLOSARIO

Bacterias multiresistentes: bacterias que son resistentes a tres o más familias de antibióticos, por ejemplo, β -lactámicos, quinolonas y aminoglucósidos.

Carbapenemasas: gen que confiere resistencia a los antibióticos carbapenémicos un tipo de β -lactámico.

Cepa: población de bacterias de la misma especie que proviene de una muestra en particular.

Contexto genético: el entorno que acompaña a los genes de resistencia a antibióticos usualmente puede incluir genes que confieren resistencia a antisépticos, metales pesados u otras estructuras que movilizan genes de resistencia.

Enterobacterias: bacterias que habitan en el tracto gastrointestinal.

Glucopéptidos: moléculas formadas por cadenas cortas de aminoácidos, algunas son utilizados como antibióticos por ejemplo vancomicina. Este tipo de antibióticos inhiben la formación de la pared celular bacteriana.

Microbioma: comunidad de microorganismos (bacterias, virus) que ocupan un hábitat determinado y que cumplen una función en dicho entorno.

Plásmido: molécula de ADN circular que está separada del ADN cromosómico y que tiene la capacidad de movilizar genes hacia otras bacterias.

Resistoma: conjunto de genes de resistencia de diferentes clases de antibióticos, que contribuye a la resistencia de una bacteria o una población de bacterias.

Nadia Rodríguez-Medina
Ulises Garza-Ramos

Laboratorio de Resistencia Bacteriana
Centro de Investigación
Sobre Enfermedades Infecciosas
Instituto Nacional de Salud Pública
Cuernavaca, Morelos
nadia_yeli@hotmail.com

Salmonelas peligrosas y dónde encontrarlas: México

Adrián **Gómez Baltazar**
Dalia **Miranda Castilleja**
Angélica **Godínez Oviedo**

El género *Salmonella* es uno de los principales patógenos que acechan tanto al ser humano como a algunos animales. Es considerado uno de los patógenos más peligrosos a nivel mundial por el número de casos de enfermedad y muerte que ocasiona. *Salmonella* se transmite por el consumo de alimentos y agua, de persona a persona y por el contacto con animales. Las salmonelas son peligrosas porque pueden causar cuadros de enfermedad que van desde leves a severos, que incluso pueden terminar en la muerte. Por un lado, tenemos el grupo de las salmonelas que causan cuadros febriles (*Salmonella* Typhi y *Salmonella* Paratyphi) y, por otro, las que causan cuadros gastrointestinales (*Salmonella* no tifoidea). Ambos grupos son catalogados como peligrosos para el ser humano y el segundo grupo puede enfermar a humanos y a algunos animales como las aves de corral, reptiles, cerdos, vacas, perros y gatos, por mencionar algunos.

¿DÓNDE ENCONTRAMOS A LAS SALMONELAS EN MÉXICO?

Salmonella es una bacteria omnipresente y es una de las características que la vuelven peligrosa, ya que, si está en muchos lugares, la probabilidad de que nos contamineemos y enfermemos es aún más grande. Otra característica



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2013.

que la hace peligrosa es su capacidad de camuflaje. ¿Qué significa esto?, pues que *Salmonella* muchas veces se puede encontrar en animales y humanos que no presentan ningún signo de enfermedad, es decir, son asintomáticos. Esta característica le permite a la bacteria sobrevivir, propagarse y estar al acecho para que, cuando bajen las defensas del huésped, poder enfermarlo.

LAS SALMONELAS EN LOS SERES HUMANOS

Se cree que *Salmonella* estuvo presente en nuestro país desde el siglo XVI, y una de las teorías es que fue traída por los españoles. Entre los años 1545 y 1550 una gran epidemia llamada el “cocoliztli” atacó a la población de nuestro país, matando a más de la mitad de la población autóctona; muchos años después, en el siglo XXI, un grupo de científicos asoció esta epidemia con *Salmonella paratyphi C* (Vågene *et al.*, 2018).

Durante los años 1949 y 1978, México atravesó por diversas epidemias de fiebre tifoidea, las cuales enseñaron la importancia del abastecimiento de agua potable y el adecuado manejo del drenaje. A partir de 1984, la Dirección General de Epidemiología, mediante el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (SINAVE) de México, reporta casos de enfermedad de fiebre tifoidea (*Salmonella Typhi*),

fiebre paratifoidea (*Salmonella Paratyphi*) y otras salmonelosis (*Salmonella* no tifoidea). A pesar de la importancia del estudio de las cepas causantes de los casos de salmonelosis, poca es la información al respecto que está disponible en el país. Uno de los trabajos más amplios de serotipificación de cepas clínicas fue realizado hace más de 20 años. En el estudio, realizado por Lucina Gutiérrez-Cogco y colaboradores, se reportan la serotipificación de cepas de *S. enterica* de casos clínicos aisladas entre 1972 y 1999, destacando que los serotipos Typhimurium y Enteritidis fueron los más encontrados (Gutiérrez-Cogco *et al.*, 2000).

LAS SALMONELAS EN ANIMALES

Salmonella puede encontrarse en animales silvestres, de granja y domésticos. La presencia de este patógeno en estos animales tiene más de una repercusión: por una parte, tenemos que el animal puede enfermar y hasta llegar a morir; por otra, que este animal puede ser fuente de contaminación para el ser humano, ya sea por contacto directo o mediante el consumo de alimentos de origen animal.

Salmonella, al parecer, no le dice que no a ningún animal. Un estudio realizado en el zoológico de Culiacán y en el acuario de Mazatlán reportó la presencia de este patógeno en felinos (leopardo, pantera, puma y lince), en aves (pollo, guacamaya), peces, ratas, serpientes, anfibios (rana, iguana), en un oso negro, en hipopótamos y hasta en un cacomixtle, solo por mencionar algunos (Silva-Hidalgo *et al.*, 2014).

La presencia de este patógeno en reptiles es muy común, y muchas veces se ha referido como la fuente de contaminación de muchos alimentos. Por ejemplo, se ha reportado la presencia de este patógeno en reptiles que se encontraron cerca de granjas de melones, alimento que ha sido asociado a brotes de *Salmonella* en Estados Unidos.

La presencia de las salmonelas en animales de granja también es muy común, por lo que la contaminación de origen es uno de los mecanismos principales de contaminación de alimentos de origen animal con este patógeno.

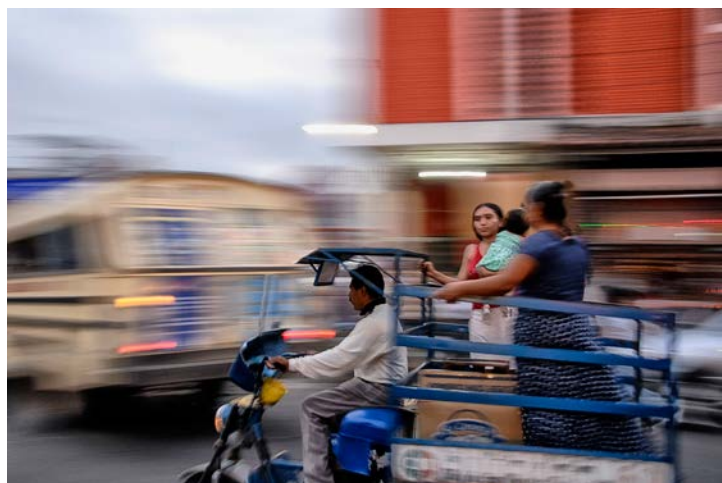
Pero si pensamos que este patógeno puede estar solamente en animales que no se encuentran cerca de nuestro hogar, estamos equivocados: *Salmonella* puede estar en los animales con los que convivimos diariamente, la podemos encontrar hasta en nuestras mascotas. En un estudio realizado en Mexicali se encontró una incidencia de 6.7 % de *Salmonella* en perros. Por otro lado, también puede estar en animales que son indeseables en nuestro hogar, como las cucarachas (Cueto-Medina *et al.*, 2015).

LAS SALMONELAS EN EL AGUA

Ya mencionamos que las salmonelas pueden estar presentes en humanos y animales pero, sorprendentemente, otro lugar donde se han encontrado es en el agua. Se ha demostrado que el agua es una fuente de contaminación microbiana y un vehículo de transmisión de patógenos. El agua de riego ha atraído la atención en los últimos años, ya que se ha identificado como fuente de contaminación por *Salmonella*.

Algunos estudios demostraron la presencia de *Salmonella* en estanques de agua para riego de productos agrícolas como tomate, pimientos, jalapeños y papayas, y la vincularon con varios brotes de salmonelosis provocados por el consumo de estos productos agrícolas.

En algunas partes de México la producción de hortalizas es irrigada con agua no tratada o agua residual; esto representa un gran riesgo de que microorganismos como *Salmonella* puedan estar presentes en diversos productos agrícolas que llegan a nuestra cocina, como tomate, chiles serranos, melón, lechugas, mango, etcétera. En un estudio llevado a cabo en los principales ríos del valle de Culiacán, una importante región agrícola del noroeste de México, se encontró una mayor presencia de *Salmonella* en los meses de verano, en comparación con los de invierno. En este estudio se encontró un efecto negativo del pH y la salinidad sobre los niveles de *Salmonella*, y un efecto positivo de la temperatura del agua del río (González-López *et al.*, 2022). El agua de los ríos puede ser contaminada cuando



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.

las heces de seres humanos y animales (domésticos, de granja o fauna silvestre) se vierten en el medio ambiente. Además, algunas comunidades rurales de México descargan sus aguas negras directamente en los ríos, lo que sin duda impacta en la calidad del agua y en el uso que se le da para actividades agrícolas.

Por lo anterior, es de vital importancia que los productores de frutas y hortalizas cuiden la calidad microbiana del agua de riego para mitigar los brotes de enfermedades alimentarias relacionadas con el consumo de estos productos.

LAS SALMONELAS EN EL SUELO

¿Has escuchado la regla de los 5 segundos? Sí, la que afirma que está bien comerse un alimento que se acaba de caer al suelo si se recoge en 5 segundos o menos; bueno, sí la has escuchado, pero las salmonelas seguro que no. La tierra o el suelo, en general, se consideran una fuente de contaminación en donde podemos encontrar cualquier cantidad de sustancias y microorganismos (incluida *Salmonella*) capaces de afectar negativamente la salud, y jamás debemos recoger algo del suelo y llevarlo a nuestra boca. Los suelos y la tierra pueden contaminarse por vías muy diversas; nosotros mismos lo podemos propiciar al recorrer con nuestros pies

diversas superficies con distintos niveles de contaminación. Por ejemplo, la calle, en donde puede haber restos de materia fecal de mascotas o animales que la habitan. En el mundo agrícola se ha visto que una fuente muy importante de contaminación de suelos es el agua de riego.

Un caso drástico, como se mencionó anteriormente, es el del uso de aguas residuales, las cuales, evidentemente, representan un gran riesgo, pues la probabilidad de encontrar salmonelas y otros microorganismos patógenos para el ser humano es muy alta. Si esta, o cualquier tipo de agua, no es debidamente tratada, puede contaminar el suelo en donde son cultivados los alimentos.

Los suelos agrícolas también pueden contaminarse por el uso de fertilizantes orgánicos que contienen estiércol que no ha sido debidamente tratado. Este tipo de fertilizantes representa otra vía importante de contaminación de suelos y un riesgo elevado de entrar en contacto con salmonelas y todo tipo de microorganismos patógenos en nuestros alimentos.

Si bien se considera que el nicho de las salmonelas es el tracto gastrointestinal de los animales, estas bacterias pueden ser encontradas en prácticamente cualquier lugar, incluidos suelos, superficies y objetos inertes. Sin embargo, al no ser estos sitios su ambiente natural, factores como la humedad, la falta de nutrientes, el nivel de pH, la temperatura y la presencia de otros organismos, dificultan considerablemente su sobrevivencia y desarrollo. Aun así, las salmonelas son unas luchadoras, capaces de desplegar diversas estrategias y mecanismos de sobrevivencia que les permiten prevalecer y, eventualmente, dispersarse en el ambiente hasta alcanzar nuevos hospederos.

Por otro lado, no todas las salmonelas ni todos los suelos son iguales; se ha visto que la tolerancia a este tipo de ambientes depende de la cepa de *Salmonella*, pero también del tipo de suelo (arenoso, arcilloso, franco, etc.), de su grado de desecación, de la cantidad de materia orgánica presente y de la diversidad de antagonistas, siendo favorables

para *Salmonella* los suelos ricos en materia orgánica, poco arenosos y con elevada humedad, aunque en este tipo de suelos también suelen ser abundantes algunos depredadores como protozoarios (Winfield y Groisman, 2003). Considerando lo anterior, se ha visto que en el suelo pueden sobrevivir, e incluso multiplicarse, hasta por un año.

LAS SALMONELAS EN LOS ALIMENTOS

El consumo de alimentos contaminados con este patógeno es la principal forma por la cual nos enfermamos de salmonelosis. Los alimentos de origen animal, principalmente el pollo y los huevos, son los más asociados a este patógeno, aunque puede estar presente tanto en vegetales, frutas, productos cárnicos, lácteos y mariscos (Godínez-Oviedo et al., 2019).

En México, las salmonelas se han encontrado en hortalizas como el cilantro, la lechuga, el perejil, las espinacas, los tomates, los pimientos, las calabacitas y hasta en los chiles. El chile es uno de los vegetales que más se emplea en la comida mexicana. En Estados Unidos, en 2008, un brote causado por *Salmonella* fue asociado con el consumo de pico de gallo y la salsa de un restaurante de estilo mexicano. El chile serrano cultivado en México fue una de las materia primas señaladas como responsables en este brote.

© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.





© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.

En el caso de las frutas, *Salmonella* ha sido aislada de melones, mangos, y naranjas. A pesar de que el patógeno se encuentra en la superficie de estos productos, durante su manipulación puede llegar a contaminar el producto final, como por ejemplo el jugo de naranja, o las ensaladas.

La prevalencia en los productos hortofrutícolas tiende a ser, en la mayoría de los casos, baja (1-10 %) en comparación con la prevalencia en productos de origen animal. Este patógeno ha estado presente en la carne de res, puerco y pollo, con una prevalencia que puede llegar a más del 60 %.

En productos procesados de origen animal (principalmente quesos y embutidos) también se ha encontrado este patógeno. Los productos marinos no se quedan atrás, y las salmonelas no les hacen el feo, ya que han sido recuperadas de pescado, pulpo y hasta de almejas. Y por si todavía dudabas de *Salmonella*, la han llegado a encontrar hasta en el alimento estrella de la comida mexicana, las tortillas (Gómez-Aldapa *et al.*, 2013).

¿TODAS LAS SALMONELAS SON IGUAL DE PELIGROSAS?

Ahora que ya sabemos más de las salmonelas peligrosas y dónde encontrarlas, una interrogante que podemos tener es si todas tienen el mismo nivel de “peligrosidad”, y la respuesta es no. Sin embargo, existe muy poca información sobre las características que hacen que algunas cepas de *Salmonella* sean más virulentas que otras. Hasta el momento,

el serotipo es lo más estudiado. Nuestro grupo de trabajo (Cuerpo Académico de Inocuidad Microbiana de los Alimentos, Universidad Autónoma de Querétaro) se ha dado a la tarea de estudiar características como la presencia de genes de virulencia, la resistencia a antibióticos, la formación de biopeículas y la fuente de aislamiento como factores que puede influir en la “peligrosidad” de las diferentes cepas de *Salmonella*.

Hasta ahora se han analizado más de 500 cepas de *Salmonella* aisladas de humanos, frutas, verduras, semillas, alimentos de baja actividad de agua, alimentos de origen animal, suelo, agua de riego y agua residual, lo que nos ha permitido observar que las cepas de *Salmonella* de mayor diversidad genotípica (presencia de genes de virulencia) y multirresistentes a antibióticos que han sido aisladas, principalmente de pollo, agua residual y humanos.

Como ya hemos mencionado anteriormente los alimentos de origen animal son los más asociados con casos de salmonelosis, esto lo podemos relacionar con la alta prevalencia del patógeno en estos alimentos. Sin embargo, también es interesante destacar que las características de las cepas que se encuentran en ellos pueden ser pieza clave. Hasta ahora, conocemos que las salmonelas se encuentran ampliamente distribuidas tanto en materia inerte como viva, pero que su prevalencia puede variar de acuerdo con la fuente.

Sin embargo, aún falta mucho por investigar, no solo acerca de dónde podemos encontrar las salmonelas peligrosas, sino también acerca de qué características las convierten en peligrosas y cuáles son las más asociadas con su nivel de virulencia. Así, esta historia no termina aquí, y nuevos resultados contribuirán a un conocimiento más profundo de este tema.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Querétaro las facilidades prestadas y su apoyo para generar y difundir ciencia. Este trabajo forma

parte del proyecto “Diversidad genotípica y fenotípica de cepas de *Salmonella enterica* aisladas de diferentes fuentes en la región centro de México: implicación en la evaluación cuantitativa de riesgos microbiólogos” (FQU202201).

REFERENCIAS

Cueto-Medina SM, Castillo-Martínez A, Hernández-Rodríguez S, Gallagos-Robles MÁ, Sánchez-Ramos FJ y Ortega-Morales AI (2015). Presencia de *Salmonella* sp. En cucaracha americana *Periplaneta americana* en Torreón, Coahuila, México. *Entomología Mexicana* 2:762-766.

Godínez-Oviedo A, Tamplin ML, Bowman JL and Hernández-Iturriaga M (2019). *Salmonella enterica* in Mexico 2000-2017: Epidemiology, Antimicrobial Resistance, and Prevalence in Food. *Foodborne Pathogens and Disease* 17:98-118.

Gómez-Aldapa CA, Rangel-Vargas E, Cruz-Gálvez AM, Román-Gutiérrez AD and Castro-Rosas J (2013). Presence of coliform bacteria, fecal coliforms, *Escherichia coli* and *Salmonella* on corn tortillas in central Mexico. *Food Control* 32:31-34.

González-López I, Medrano-Félix JA, Castro-del Campo N, López-Cuevas O, González-Gómez JP, Valdez-Torres JB and Chaidez C (2022). Prevalence and Genomic Diversity of *Salmonella enterica* Recovered

from River Water in a Major Agricultural Region in Northwestern Mexico. *Microorganisms* 10:1-17.

Gutiérrez-Cogco L, Montiel-Vázquez E, Aguilera-Pérez P y González-Andrade MDC (2000). Serotipos de *Salmonella* identificados en los servicios de salud de México. *Salud Pública de México* 42:490-495.

Silva-Hidalgo G, López-Valenzuela M, Juárez-Barranco F, Montiel-Vázquez E and Valenzuela-Sánchez B (2014). *Salmonella* serovars and antimicrobial resistance in strains isolated from wild animals in captivity in Sinaloa, Mexico. *Japanese Journal of Veterinary Research* 62:129-134.

Vâgene ÅJ, Herbig A, Campana MG, García NMR, Warinner C, Sabin S and Krause J (2018). *Salmonella enterica* genomes from victims of a major sixteenth-century epidemic in Mexico. *Nature Ecology and Evolution* 23:520-528.

Winfield MD and Groisman EA (2003). Role of nonhost environments in the lifestyles of *Salmonella* and *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology* 69:3687-3694.

Adrián Gómez Baltazar
Dalia Miranda Castilleja
Angélica Godínez Oviedo

Departamento de Investigación
y Posgrado de Alimentos
Facultad de Química
Universidad Autónoma de Querétaro
qa_angelica@hotmail.com



Granjas de insectos comestibles

María de la Luz **Sánchez Estrada**
Ana Angélica **Feregrino Pérez**

Los alimentos del futuro son en realidad alimentos del pasado que nuestros ancestros consumían por sus valores nutricionales. Ahora que han vuelto a ser tendencia en el consumo humano, se presentan nuevos retos para obtenerlos. Veamos qué se está haciendo de investigación y productividad en torno al consumo de insectos comestibles.

La desnutrición es la principal causa de muerte a nivel mundial. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en 2019 cerca de 690 millones de personas sufrían hambre en el mundo y, para 2020, esta cifra aumentó un 10 % debido a la pandemia ocasionada por la COVID-19.

En México, más del 50 % de la población está afectada por una triple carga de malnutrición, que incluye la desnutrición, las carencias de micronutrientes y la obesidad. Las recomendaciones nutricionales para el ser humano dependen principalmente de la edad, el peso y la actividad física; a pesar de que los rangos son diferentes para los grupos de personas, de manera general, todos requieren una ingesta diaria de vitaminas, minerales, elementos traza y macronutrientes como grasas, carbohidratos, ácidos grasos y proteínas.

Es por ello que la cría y domesticación de insectos para alimento animal y humano tiene la finalidad de fortalecer la seguridad alimentaria ante la creciente demanda poblacional y suplementar los requerimientos proteínicos en la población más vulnerable.

Nutriente	Grillos	Gusano de harina	Pollo	Res
Proteína cruda (%)	59-72	46.4	19.3	21.8
Calcio (μg)	40.7	23.1	12	13
Fierro (μg)	1.9	2.2	0.9	2.7
Zinc (μg)	6.7	4.6	1.5	6.3
Potasio (μg)	347	340	229	233
Magnesio (μg)	33.7	60.6	25	22
Vitamina B12 (μg)	5.4	0.5	0.4	–
Rivoflavina (μg)	34.1	8.1	2.1	1.8

Tabla 1. Comparación del contenido nutricional de fuentes alternativas y tradicionales de proteína (Kouřimská y Adámková, 2016; Akhtar y Isman, 2018).

La población de insectos en general se encuentra en declive debido al uso de plaguicidas, la pérdida de hábitats por deforestación, uso de tierra agrícola y cambio climático (Outhwaite *et al.*, 2022). Además, existe el riesgo de que los insectos recolectados en campo estén contaminados con plaguicidas, metales pesados o microorganismos patógenos, que resulta ser un serio problema para los potenciales consumidores (Fernández *et al.*, 2020). Es por ello que los esfuerzos científicos se enfocan en domesticar a los insectos comestibles.

INSECTOS COMESTIBLES

Los insectos son una clase de animales invertebrados, es el grupo de animales más diverso; se conocen alrededor de un millón de especies de insectos, de los que alrededor de mil novecientas especies son comestibles. En este sentido, México es el país líder, ya que cuenta con quinientas cuarenta y nueve especies comestibles de las mil novecientas registradas en todo el mundo; en segundo y tercer lugar se encuentran China y Tailandia, respectivamente (Gahukar, 2016).

El valor nutricional de los insectos comestibles incluye: un alto contenido de proteína, ácidos grasos, vitaminas, fibra y minerales (Kouřimská y Adámková,

2016; Akhtar y Isman, 2018). En la Tabla 1 se muestra el contenido nutricional de dos insectos comestibles (grillos y el gusano de harina) en comparación con proteínas tradicionales (pollo y res).

En la Tabla 1 se puede observar que los grillos y el gusano de harina tienen mayor contenido proteínico, de vitaminas y minerales que el pollo y la res. En general, cualquier insecto comestible tiene mayor aporte de proteínas que las fuentes convencionales; adicionalmente, su sabor es cada vez más aceptado. El sector de la población que practica la entomofagia (consumo de insectos) tiene particular gusto por los saltamontes, los grillos, las hormigas, las termitas, las crisálidas de polillas, las mariposas y los escarabajos (Ramos Elorduy, 2004). Además, un gran número de personas se interesa en consumir alimentos que sean producidos de manera sustentable; lo anterior, con la finalidad de disminuir los efectos producidos al medio ambiente, así como combatir la crueldad animal. Por ello, los insectos comestibles son una opción viable para esa población, pues contemplan los requerimientos dietéticos con fuentes proteicas sustentables (Van Huis *et al.*, 2013).

IMPACTO AMBIENTAL

México ocupa el sexto lugar mundial de países productores de carne de res, para lo cual se emplean

109.8 millones de hectáreas según datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2020). La producción pecuaria en 2019 fue de 22.6 millones de toneladas, obteniéndose \$ 1,506.7 mdd de la exportación de carne de res. La venta de carne de res mexicana creció 23.8 % entre enero y julio de 2019, respecto al mismo periodo del año anterior, con un valor de más de 2,300 mdd.

Pese al incremento en la producción pecuaria, la carne de pollo registró un incremento de 9.4 %, seguida de la leche pasteurizada 8.1 % y la carne de res con 7.5 %, de acuerdo con datos del Grupo Consultor de Mercados Agrícolas (GCMA, 2020). Los ganaderos enfrentan el reto de aumentar la producción con menor impacto ambiental para satisfacer el incremento de la demanda de proteína animal; desafortunadamente, la ganadería ha impactado negativamente al medio ambiente por la emisión de gases de efecto invernadero, que contribuyen al calentamiento global.

La principal fuente de proteína actual es la de origen animal, la cual difícilmente puede sustituirse por otro alimento debido al aporte de aminoácidos esenciales. Así, el cultivo de insectos tiene un menor impacto ambiental, tanto en sus emisiones de dióxido de carbono como en utilizar menos recursos de tierra, agua y energía, comparado con el ganado de pollo, cerdo y res (Gahukar, 2016; Valdivié, 2015). Es por ello que el consumo de proteína de insectos comestibles es una alternativa para producir proteína de alta calidad y, al mismo tiempo, reducir la huella de carbono asociada a esta actividad (Scanes, 2017).

PANORAMA MUNDIAL

El mercado mundial de insectos comestibles superó los ciento doce millones de dólares en 2019, y se espera que crecerá más del 47 % entre 2019 y 2026 según datos del Global Market Insights Inc (2021). El producto principal es la harina de grillos, que se utiliza para mejorar el perfil nutricional de los productos de panadería y confitería, además de generar diversos alimentos funcionales como pastas y barras de proteína. En todo el mundo, el cultivo

de insectos a gran escala como los grillos, gusanos de la harina y gusanos de cera sigue siendo manual; en Tailandia, por ejemplo, unas 20,000 empresas medianas y grandes tienen éxito en la cría de grillos, saltamontes y otros insectos (Hanboonsong *et al.*, 2013).

El proceso de la domesticación de insectos comestibles se lleva a cabo en un ambiente cerrado y controlado; esto permite garantizar la producción constante todo el año, a diferencia de la recolección que solo es posible en temporada (Gahukar, 2016). En este proceso se requiere control ambiental (temperatura, humedad relativa, fotoperiodo), alimentación de calidad, así como prevención de parasitoides y enfermedades para un mejor crecimiento y desarrollo de los insectos. Otros elementos críticos incluyen el conocimiento de la biología de insectos, condiciones de cría adecuadas y fórmulas dietéticas. Todo ello posibilita lograr la producción a escala comercial mediante sistemas agrícolas automatizados que sean económicamente competitivos con la producción de carne de ganado (Gahukar, 2016). Así, el objetivo final es la producción masiva de insectos como una alternativa para mejorar el suministro de alimentos ricos en proteínas y reducir el impacto ambiental.

Actualmente, en México, los insectos se obtienen principalmente mediante su recolección; incluso Ramos Elorduy (2004) menciona un concepto llamado protocultivos, que consiste en el cuidado de los nidos de los insectos para luego explotarlos. Por tal motivo, en México es necesario impulsar desarrollos tecnológicos para la crianza de insectos comestibles, en conjunto con los sectores expertos en alimentos, que permitirá la formulación de productos derivados de estas fuentes proteicas, tanto para consumo humano, como para consumo animal.

Los insectos más cultivados a nivel global incluyen la abeja de miel (*Apis mellifera* spp.), el grillo (*Acheta domestica*), el gusano de harina (*Tenebrio molitor*) y el gusano de seda (*Bombix mori*). Los procesos de crianza de otros insectos se encuentran en desarrollo, debido a que se continúan los

estudios para lograr una producción industrial; entre ellos está la mosca soldado (*Hermetia illucens*). La Universidad de Gante, en Bélgica, ha reportado la posibilidad de convertir a los grillos, saltamontes y otras especies en aceite comestible. En este sentido, en las siguientes secciones se mencionan los tres insectos más cultivados como alimento, así como los avances científicos en torno a su cultivo.

CULTIVO DE ACHETA DOMESTICUS

Los adultos de *Acheta domesticus*, conocidos como grillos, pertenece al orden Orthoptera, con un tipo de metamorfosis Paurometábolo, que tiene como principal característica pasar por tres etapas distintas (huevo, ninfa y adulto). Además, las ninfas y los adultos viven en hábitats parecidos. El grillo es una de las especies de mayor interés como fuente de proteínas para los humanos. La aceptación de los insectos como alimento en general es baja, por lo que se están desarrollando trabajos para mejorar su atractivo sensorial.

Entre ellos, desengrasar a los grillos para poder adicionar la harina de grillo a barras de cereales y ofertar alimentos nutritivos, es uno de los enfoques más prometedores. Estudios como el de Ribeiro *et al.* (2019) concluyen que el sabor característico de los grillos parece estar asociado con el contenido de lípidos, por lo que muchos estudios se enfocan en utilizar diferentes solventes para desengrasar a los grillos. Si bien las harinas de grillo ya son una realidad que podemos encontrar como alimento humano, la investigación continúa en cuanto a los riesgos asociados a químicos como metales pesados y microbianos. Además, hay trabajos que analizan el contenido de proteínas alergénicas que pudieran afectar a la salud humana (Fernández *et al.*, 2019).

CULTIVO DE HERMETIA ILLUCENS

Las larvas de *Hermetia illucens*, también conocida como la mosca soldado negra, pertenece al orden

Diptera con un tipo de metamorfosis Holometabolo, que tiene como principal característica pasar por cuatro etapas distintas (huevo, larva, pupa y adulto). Además, las larvas y los adultos viven en hábitats distintos. Es ahí donde surge el interés de explotar a la larva, debido a la gran capacidad que tiene para su producción en masa, aprovechando su ciclo de vida corto. La larva de mosca soldado es polífaga, y esto le confiere la ventaja de aceptar diversos materiales de desecho para ser cultivada. Pese al hecho de ser cultivada hasta en estiércol de cerdo, diversos estudios revelan su baja vulnerabilidad ante enfermedades, en comparación con el *Tenebrio molitor* y *Acheta domesticus*. Adicionalmente, estudios recientes revelan su potencial como un alimento nutritivo que ha sido incluido en la dieta de diversos animales como aves de postura y engorde, cerdos y, en el área acuícola, en la alimentación de peces como tilapia, trucha y róbalo europeo (Eilenberg *et al.*, 2015; Figueredo y Albarracín, 2021).

CULTIVO DE TENEBRIO MOLITOR

Las larvas del *Tenebrio molitor*, conocido como escarabajo o gusano de la harina, pertenece al orden Coleoptera, con un tipo de metamorfosis Holometabolo al igual que la mosca soldado. Este escarabajo es considerado una plaga de granos almacenados, por lo que, para la agricultura puede ser un problema, pero como fuente de proteína animal y humana es una solución, debido a que es producida en avena y otros granos que le confieren un sabor más aceptable al consumidor. Incluso, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) desarrolló un certamen sobre la seguridad de las larvas enteras o molidas de *Tenebrio molitor* como un alimento.

Además, varios estudios están enfocados en la extracción de las proteínas y lípidos para que sean adicionados a otros tipos de alimentos de mayor aceptación. La mayoría de las pruebas de este gusano han sido para sustituir las harinas de pescado en alimentos acuícolas, así como parte de la dieta de los cerdos (Gkinali *et al.*, 2021). Como se ha mencionado, en el caso de *Acheta domesticus*, sus lípidos confieren sabores no aceptables para el consumidor

y se han utilizado alternativas para desengrasarlos. Se ha reportado que el aceite desodorizado podría reemplazar el 100 % del aceite vegetal en galletas, sin cambiar la aceptación del consumidor, por lo que eliminar los aromas de los lípidos es otra alternativa para incrementar la aceptación del consumidor (Tzompa *et al.*, 2021). Adicionalmente, existen estudios donde reportan que los aceites de insectos contienen más ácidos grasos omega 3, vitamina E y antioxidantes que los aceites vegetales, por lo que los aceites comestibles podrían obtenerse por la cría de insectos (Cheseto *et al.*, 2020).

USOS Y PERSPECTIVAS

En la última década, las investigaciones en torno a la crianza de los insectos están enfocadas para fines de control biológico en los invernaderos; o bien, para utilizarlos como alimento de animales o humanos. La cría de insectos para la alimentación en el futuro tenderá a ser masiva para la fabricación de harinas y aceites. Sin embargo, este conocimiento no ha sido lo suficientemente aprovechado en México debido a que, posiblemente, como lo mencionan Cruz y Peniche (2018), la mayoría de estudios en insectos están en idioma inglés principalmente o en artículos muy especializados y no se han traducido al español y a otras lenguas de regiones o países donde se práctica la entomofagia.

Además, su estudio enfatiza algunas de las necesidades para el despegue de la crianza en masa en el centro de México y su frontera sur, como el que existan materias o contenidos curriculares en carreras de ciencias biológicas o ingeniería de los alimentos para un aprovechamiento de este tipo de proteína e, incluso, no se están contemplando en actividades agropecuarias que pueden apoyar la producción acuícola mediante la producción de harinas a base de insectos para su alimentación. Cruz y Peniche (2018) resaltan algunos estudios hechos en el estado de Chiapas que son de importancia para que, en un futuro no muy lejano, se puedan impulsar desarrollos tecnológicos para la crianza de insectos comestibles en el sur y centro de México.

REFERENCIAS

- Cruz P y Peniche C (2018). La domesticación y crianza de insectos comestibles: una línea de investigación poco explorada y con gran potencial para el desarrollo sostenible y la seguridad alimentaria en México. *Folia Entomológica Mexicana* 4(2):66-79.
- Fernandez CX, Söderqvist K, Bakeeva A, Vaga M, Dicksved J, Vagsholm I, Jansson A and Boqvist S (2020). Microbial communities and food safety aspects of crickets (*Acheta domesticus*) reared under controlled conditions. *Journal of Insects as Food and Feed* 6(4):429-440.
- Fernandez CX, Supeanu A, Vaga M, Jansson A, Boqvist S and Vagsholm I (2019). The house cricket (*Acheta domesticus*) as a novel food: a risk profile. *Journal of Insects as Food and Feed* 5(2):137-157.
- Figueredo J y Albarracín M (2021). Alternativas de alimentación de monogástricos a base de larvas de Soldado Negro (*Hermetia illucens*): Revisión de literatura. *Revista colombiana de zootecnia* 7(12):35-48.
- Gahukar RT (2016). Edible insects farming: efficiency and impact on family livelihood, food security, and environment compared with livestock and crops. In *Insects as sustainable food ingredients*. Academic Press 85-111.
- Gkinali AA, Matsakidou A, Vasileiou E and Paraskevopoulou A (2021). Potentiality of Tenebrio molitor larva-based ingredients for the food industry: A review. *Trends in Food Science & Technology* 119:495-507.
- Hanboonsong Y, Jamjanya T and Durst PB (2013). Six-legged livestock: edible insect farming, collection and marketing in Thailand. *RAP publication* 3:8-21.
- Kouřimská L and Adámková A (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS journal* 4:22-26.
- Ramos Elorduy J (2004). La etnoentomología en la alimentación, la medicina y el reciclaje. Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento (pp. 329-413). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ribeiro JC, Lima RC, Maia MR, Almeida AA, Fonseca AJ, Cabrita ARJ and Cunha LM (2019). Impact of defatting freeze-dried edible crickets (*Acheta domesticus* and *Gryllobates sigillatus*) on the nutritive value, overall liking and sensory profile of cereal bars. *Lwt* 113:108335.
- Tzompa Sosa DA, Dewettinck K, Gellynck X and Schouteten JJ (2021). Replacing vegetable oil by insect oil in food products: Effect of deodorization on the sensory evaluation. *Food Research International* 141:110140.

María de la Luz Sánchez Estrada
Ana Angélica Feregrino Pérez
Cuerpo Académico Ingeniería de
Biosistemas Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
Campus Amazcala
feregrino.angge@hotmail.com



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

Meliponinos: las abejas que polinizando se comunican

Leopoldo **Cruz-López**
David **Alavez-Rosas**

La polinización es un proceso ecológico de gran importancia, tiene como resultado la fecundación de la planta. De manera general, la polinización es la transferencia de polen desde la parte masculina de una flor (antera) hasta la parte femenina (estigma) de otra o de la misma flor; es esencial para el mantenimiento de la viabilidad y la diversidad genética de las plantas con flor, además de mejorar la calidad y cantidad de semillas y frutos. Este proceso puede ocurrir tanto de forma abiótica, mediante el transporte del polen por el viento o el agua, o de forma biótica, por animales que transportan el polen. Diversos grupos, tales como insectos, aves o mamíferos, pueden actuar como polinizadores, movidos por la necesidad de encontrar recursos para su alimentación, desarrollo o reproducción (García *et al.*, 2016)

Si nos preguntaran ¿cuál es el insecto polinizador más conocido?, seguramente responderemos que la abeja doméstica (*Apis mellifera*), ya que está distribuida en todo el mundo y poliniza una gran variedad de cultivos. Sin embargo, existe otro grupo de abejas que han demostrado ser excelentes polinizadores debido a que poseen un fascinante lenguaje químico. Las abejas sin aguijón, también conocidas como meliponinos (pertenecen a la subfamilia Meliponinae), son insectos sociales que viven en colonias permanentes y se multiplican en enjambres; existen cerca de 500 especies, se encuentran



Figura 1. Nido de la abeja sin aguijón *Melipona beecheii* (abeja real, del maya *xunán kab*). Foto de Karen Espadas (Ecosur, Tapachula).

en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo. Poseen un aguijón atrofiado, el cual no es funcional (por eso no pican), pero tienen un papel ecológico importante, porque son excelentes polinizadores de muchas especies de plantas silvestres (Amano *et al.*, 2000). La importancia económica y cultural de estos insectos es amplia y antigua, varias especies de abejas sin aguijón (principalmente de los géneros *Melipona*, *Trigona* y *Scaptotrigona*) han sido domesticadas durante siglos, especialmente por los mayas (Figura 1). A esta práctica se le conoce como meliponicultura, en la actualidad hay familias en el sureste de México que viven de ella.

Las abejas sin aguijón visitan una gran variedad de plantas y se adaptan a nuevos hábitats, generalmente visitan una sola especie de planta en un viaje, su domesticación es sencilla, almacenan alimento (permite la supervivencia en periodos de escases de flores), reclutan compañeros para visitar flores y poseen diversos mecanismos de comunicación (Slaa *et al.*, 2006; Alavez-Rosas *et al.*, 2017). Estas abejitas

utilizan mensajes químicos (que no se pueden ver y no se pueden escuchar, pero sí se pueden oler).

COMUNICACIÓN QUÍMICA ENTRE LAS ABEJAS

El secreto del éxito como polinizadores de las abejas sin aguijón es que poseen un excelente sistema de comunicación que les permite actuar colectivamente. Las abejas sin aguijón son maestras en el uso de feromonas (compuestos químicos que permiten la comunicación entre miembros de la misma especie). Los meliponinos poseen glándulas especializadas que producen, almacenan y liberan estos compuestos químicos. Para detectar las sustancias químicas, utilizan sus antenas (podemos decir que ellas huelen con las antenas). Usando feromonas, las abejas pueden indicar la posición de alguna fuente de alimento (flores, polen o néctar), atraer compañeros o marcar flores. Por ejemplo, la abeja *Trigona corvina* utiliza hexanoato de etilo para crear rutas o “rastros” entre el nido y las flores con néctar (Leonhardt, 2017).

Las abejas *Melipona solani*, *M. favosa* y *M. panamica* utilizan feromonas de marcaje en fuentes de alimento, para ser visitadas por compañeras de nido o para que otras abejas de otro nido se mantengan alejadas (Alavez-Rosas *et al.*, 2018). Cuando las abejas están fuera del nido (polinizando), enfrentan depredadores, por lo tanto, hacen uso de su lenguaje químico y son capaces de emitir compuestos que les indican si deben huir o atacar. Por ejemplo, *M. solani*, utiliza el 2-heptanol como feromona de alarma; al detectarlo, las abejas huyen (Alavez-Rosas *et al.*, 2019).

COMUNICACIÓN QUÍMICA ENTRE LA ABEJA Y LA PLANTA

Las plantas con flores (angiospermas) y las abejas sin aguijón tienen una relación muy estrecha, la cual permite el equilibrio en los bosques; este fenómeno puede ser utilizado por los seres humanos en la agricultura. Es un tipo de simbiosis donde la abeja sin aguijón necesita el néctar y polen de las flores, así que ellas son capaces de detectar los compuestos químicos volátiles presentes en las



Figura 2. La abeja sin aguijón (*Trigona fulviventris*) visitando una mañanita (*Portulaca grandiflora*). Foto de Andrea Citalán (Ecosur, Tapachula).



Figura 3. La abeja sin aguijón *Trigona fulviventris* visitando una purpurina (*Tradescantia pallida*). Foto de Leopoldo Cruz.

flores, néctar y polen. Mientras que la planta ofrece esos productos como recompensa para ser polinizada, por lo tanto, las plantas tienen estrategias para manipular el comportamiento de las abejas, la más notable es producir y emitir compuestos que las atraigan (Figuras 2 y 3). Entre estos compuestos se encuentra el eugenol, metil eugenol, limoneno, farnesol, nerodiol y linalool (Solís-Montero *et al.*, 2018). Estos compuestos son comunes en todas las plantas, lo cual podría explicar el aspecto generalista de las abejas sin aguijón para polinizar muchas especies. Adicionalmente, en el néctar y el polen existe una estrecha relación entre estos compuestos volátiles y los nutrientes (azúcares y aminoácidos) que la abeja necesita, por lo tanto, la abeja sin aguijón puede distinguir la calidad de una flor solamente con olerla.

¿QUÉ CULTIVOS POLINIZAN LAS ABEJAS SIN AGUIJÓN?

Existen muchas especies de plantas que son polinizadas por abejas sin aguijón: Achioté (*Bixa orellana*), café (*Coffea* spp.), carambola (*Averrhoa*

carambola), macadamia (*Macadamia integrifolia*) y mango (*Mangifera indica*) (Slaa *et al.*, 2006). Las abejas sin aguijón (*Melipona* y *Trigona*) son muy importantes para la polinización de Solanáceas, como la berenjena, el chile, la papa y el tomate. En las flores de las solanáceas, el polen se libera a través de la vibración ('zumbido'). Las meliponas producen estas vibraciones haciendo temblar sus cuerpos, cosa que la abeja común no es capaz de hacer. La abeja *Melipona fasciculata* es un eficiente polinizador de la berenjena (*Solanum melongena*) en invernaderos, la abeja *Melipona quadrifasciata* poliniza exitosamente el tomate (*Solanum lycopersicum*). A pesar de no realizar zumbidos, la abeja *Trigona laeviceps*, ha resultado ser un excelente polinizador del chile (*Capsicum frutescens*), generando frutos de buena calidad (Slaa *et al.*, 2006; Solís-Montero *et al.*, 2018). En cultivos de fresa (*Fragaria x ananassa*), especies como *Scaptotrigona depilis* y *Nanotrigona testaceicornis* han resultado ser buenas polinizadoras, así como *Melipona*



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.

quadrifasciata para la manzana (*Malus domestica*) (Meléndez Ramírez *et al.*, 2018).

En resumen, las abejas sin aguijón cuentan con un excelente sistema de comunicación química y con características peculiares que les permite vivir en sociedades y ser muy buenas polinizadoras. Actualmente, estos insectos se utilizan en invernaderos o en pequeños cultivos, aumentando la producción y mejorando la calidad del fruto.

Por lo tanto, el empleo de estos en cultivos a gran escala puede generar importantes beneficios económicos, con riesgos ambientales reducidos y mayores ventajas para regiones con economías emergentes. Sin embargo, se deben tomar en cuenta los cientos de especies de abejas sin aguijón y que no es posible trabajar con todas. El mantenimiento, la producción de miel y derivados son diferentes entre especies. Por lo tanto, cada meliponicultor debe adaptar sus prácticas de producción y aprovechamiento a las especies de abejas sin aguijón que maneja y al clima de la región.

REFERENCIAS

- Alavez-Rosas D *et al.* (2017). The stingless bee *Melipona solani* deposits a signature mixture and methyl oleate to mark valuable food sources. *J Chem Ecol* 43:945-954.
- Alavez-Rosas D *et al.* (2019). (S)-2-Heptanol, the alarm pheromone of the stingless bee *Melipona solani*. *Apidologie* 50:277-287.
- Amano K, Nemoto T and Heard T. (2000). What are stingless bees, and why and how to use them in crop pollination. *JARQ* 34(3):183-190.
- García M *et al.* (2016). La polinización en los sistemas de producción agrícola: revisión sistemática de la literatura. *Idesia (Arica)* 34(3):53-68.
- Leonhardt S (2017). Chemical ecology of stingless bees. *J Chem Ecol* 43:385-402.
- Meléndez Ramírez V *et al.* (2018). Crop pollination by stingless bees. In: Vit P., Pedro S., Roubik D. (eds) *Pot-Pollen in Stingless Bee Melittology*. Springer, Cham.
- Slaa EJ *et al.* (2006). Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives. *Apidologie* 37(2):293-315.
- Solis-Montero L *et al.* (2018). Pollinator preferences for floral volatiles emitted by dimorphic anthers of a buzz-pollinated herb. *J Chem Ecol* 44:1058-1067.

Leopoldo Cruz-López
El Colegio de la Frontera Sur
Tapachula, Chiapas
lcruz@ecosur.mx

David Alavez-Rosas
Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México
alavezd@yahoo.com

¿Cuántas especies hay?

Una actualización para las primeras dos décadas del siglo XXI

Jorge **Mercado**
Tania **Escalante Espinosa**

En 2003 (hace 20 años ya), uno de los presentes autores publicó un manuscrito en esta revista sobre cuántas especies hay, que ha sido muy usado en diversas partes del mundo hispanohablante, con más de 100 citas y leído más de 20,000 veces, según el portal ResearchGate (2022). Sin embargo, la pregunta sobre cuál es el número de especies que habita el planeta sigue vigente. Parte del problema es que no podemos simplemente contar el número de formas de vida, ya que muchos seres vivos se encuentran en hábitats inaccesibles, otros son demasiado pequeños para verlos a simple vista (algunos hasta con potentes microscopios son difíciles de identificar), unos más no son fácilmente detectables o, incluso, algunos habitan dentro de otros seres vivos.

Un problema al considerar las formas de vida es, por ejemplo, decidir sobre si un virus es una especie o si los individuos producto de hibridación son especies y, por lo tanto, esto también dificulta conocer realmente el número de especies. De hecho, el problema es tan profundo que en la actualidad no se ha llegado a un consenso en la definición de qué es una especie.

Existen diferentes compendios que han intentado definir la especie, lo que ha llevado a proponer conceptos

como el biológico, el evolutivo, el filogenético, entre otros; pero sin llegar a un acuerdo sobre cuál es el más adecuado.

Con el fin de poder realizar estimaciones más reales del número de especies, diferentes científicos han llevado a cabo inventarios de fauna y flora, visitando áreas inexploradas, inventariando grupos poco conocidos, registrando nuevas especies o empleando modelos matemáticos que permitan aproximarse hacia cuál es el número de especies que existe en el planeta. Dentro de estas estimaciones o modelos matemáticos, uno de los acercamientos más empleados el día de hoy es el de Mora *et al.* (2011), quienes estimaron alrededor de los 8.7 millones de especies en la superficie terrestre y los océanos. No obstante, el número exacto de especies aún es desconocido y podría estar lejos de ser calculado realmente algún día, dada la destrucción de los hábitats, lo inaccesible de ciertos lugares, y la falta de exploración hacia grupos taxonómicos como microalgas, dinoflagelados, bacterias, hongos y virus.

Pero, finalmente, ¿cómo medimos el número de especies? Una de las herramientas más empleadas es el uso de índices que permiten medir la relación entre el número de individuos y especies por una unidad de área determinada. En 1960, el ecólogo vegetal Robert H. Whittaker, mediante el análisis de la vegetación a través de un gradiente altitudinal en las montañas Siskiyou (en Oregon y California, Estados Unidos), consideró necesario organizar la diversidad de forma jerárquica.

Whittaker (1960) propuso que la riqueza de especies de una comunidad es la diversidad alfa (α), el grado de diferenciación entre comunidades es la diversidad beta (β), y la diversidad resultante de todas las comunidades es la diversidad gamma (γ). La anterior estructura jerárquica de la diversidad permite establecer la estructura de las comunidades (Figura 1).

¿Pero, por qué no solo contar el número de especies y así saber cuántas existen? La respuesta es que el número real está sesgado por el esfuerzo de

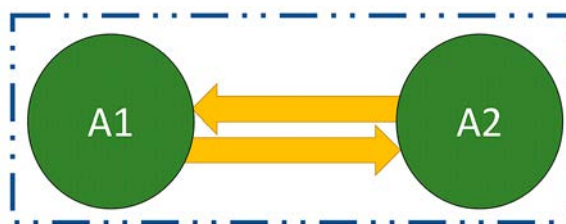


Figura 1. Niveles de diversidad: los círculos verdes representan la diversidad alfa de dos localidades diferentes llamadas A1 y A2. Las flechas amarillas indican la diversidad beta entre las dos localidades, y las líneas azules intercaladas representan la diversidad regional o gama

muestreo: los valores de riqueza cambian dependiendo de cuánto tiempo se invierte en la recolecta científica, del tipo de muestreo que se emplea y el periodo del año, entre otros factores. Por ejemplo, en los bosques que son secos estacionalmente, es muy probable que la diversidad de insectos cambie ligeramente durante los periodos de lluvia y sequía. Por lo anterior, se requiere de metodologías que permitan hacer estimaciones de la riqueza considerando estos factores. Whittaker (1960) mencionó también que la diversidad alfa podría analizarse teniendo en cuenta las abundancias de las especies; es decir, el número de individuos de una especie en un área dada.

La abundancia permite identificar a las especies raras, las cuales son aquellas que presentan uno o dos registros por localidad, y a las comunes, que presentan más de dos registros por localidad (Colwell y Coddington, 1994). Para Chao *et al.* (2014), la abundancia influye en la diversidad: si tenemos dos localidades y contamos todas las especies por igual, sin tomar en cuenta su abundancia, simplemente las especies raras “valdrán” lo mismo que las comunes. Pero, ¿qué pasa cuando tenemos dos localidades donde la riqueza de especies es idéntica, pero las especies raras en una localidad son las comunes en la segunda y viceversa?, ¿la diversidad es realmente la misma? De hecho, sería clave incorporar datos de abundancia para poder realizar estimaciones realistas de la diversidad y no solo realizar los análisis con base en los datos de presencia-ausencia de las especies.

ÍNDICES DE DIVERSIDAD ALFA

En términos generales, los índices de diversidad alfa se pueden dividir en dos grupos: los que evalúan la riqueza de especies (cuántos tipos hay) y los que calculan la uniformidad o dominancia de las especies (cómo se distribuyen los individuos entre las especies).

En el primer grupo se incluyen aquellos índices que solo tienen en cuenta la lista de especies, es decir, su composición; mientras que en el segundo se consideran los valores de abundancia de cada individuo y su relación con el área. El primer grupo incluye índices que permiten medir la riqueza como el de Margalef, las curvas de acumulación, las curvas de rarefacción y de interpolación-extra-polación. Estas últimas son sumamente útiles, ya que han permitido calcular el número esperado de especies de cada muestra al estandarizarlas a un mismo tamaño. Por su parte, el índice de Margalef compensa los efectos del tamaño de la muestra, dividiendo el número de especies en una muestra por el logaritmo natural del número de organismos recolectados, y así tratar de evitar el problema de los sesgos de los muestreos.

En el segundo grupo de índices, o aquellos que requieren las abundancias de las especies, se han empleado de forma tradicional diferentes estimadores, los cuales incluyen a los índices de Shannon-Weaver y Simpson (Guiasu, 2012). El índice de Shannon-Weaver asume que los individuos se muestrean aleatoriamente de una gran población independiente y que todas las especies están representadas en la muestra. Este índice se calcula tomando en cuenta la proporción del número total de individuos de cada especie: cuanto mayor sea el índice, mayor será la diversidad de especies. Lo anterior permite medir la diversidad con “uniformidad”, lo que refiere a la proporción en la cual cada especie forma parte del todo (Jost y González-Oreja, 2012). Por otro lado, el índice de Simpson toma en cuenta el número de especies presentes, pero también su abundancia relativa: a medida que aumenta la riqueza y la uniformidad de las especies, también aumenta la diversidad.

Los índices anteriores han sido de gran utilidad para comprender cómo se estructura una comunidad en su diversidad alfa; sin embargo, un problema de estas medidas es que sus resultados no permiten realmente una comparación directa entre las localidades porque no miden la diversidad de manera directa, sino la “entropía”. La entropía se refiere a la incertidumbre que existe sobre si un individuo seleccionado al azar de la comunidad pertenece a cierta especie, por lo que, si tenemos una comunidad donde todas las especies poseen la misma abundancia, entonces la entropía será alta y tendrá mayor diversidad (Jost, 2006; Moreno *et al.*, 2011).

DIVERSIDAD VERDADERA Y NÚMEROS EFECTIVOS

Jost (2006) empleó el concepto de diversidad “verdadera” basada en los números de Hill (1973), para identificar formas de evaluar la diversidad de especies de manera consistente. Esta medida de la diversidad “verdadera” son los números efectivos de especies, a los cuales corresponde el número de elementos igualmente probables, necesarios para producir el valor dado del índice de diversidad (Jost, 2007). Jost mostró que la diversidad en ecología no corresponde al valor del índice de diversidad en sí mismo, sino a los números equivalentes o efectivos. Aunque el concepto “verdadero” puede ser cuestionable, el autor se refiere a este para diferenciarlo de otras medidas o índices que no cumplen con las propiedades intuitivas de la diversidad (Moreno *et al.*, 2011).

Los números efectivos de especies tienen al menos dos propiedades vinculadas estrechamente con la diversidad alfa, lo que facilita su uso en otro tipo de análisis como los filogenéticos y los funcionales (Jost, 2006, 2007; Chao *et al.*, 2014; Cao y Hawkins, 2019): 1) permiten que la diversidad alfa y beta varíe independientemente entre sí a través de regiones con diferentes diversidades gamma; y 2) su valor se expresa en las mismas cantidades y unidades, por lo que es posible visualizar las diferencias en la

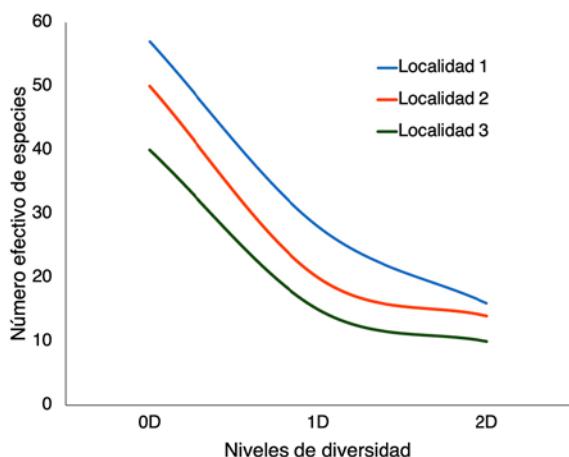


Figura 2. Perfil de diversidad con base en los números efectivos de especies: ejemplo donde se muestran tres localidades con sus niveles 0D (riqueza), 1D (homogeneidad) y 2D (dominancia).



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2013.

diversidad, de modo que los componentes dentro de la comunidad y entre comunidades se pueden comparar directamente. Otra ventaja de los números efectivos es que dependen menos del esfuerzo de muestreo que de la riqueza de especies (Beck y Schwanghart, 2010; Chao *et al.*, 2014), por lo que proporcionan evaluaciones de biodiversidad mejor interpretables y comparables.

Dentro de la propuesta abordada por Jost (2006) sobre los índices de diversidad verdadera –que también se nombran como “números de Hill”–, el número efectivo de especies se divide en tres niveles (Jost, 2006; Chao *et al.*, 2014b; Marcon y Hérault, 2015; Figura 2): 1) la diversidad del orden cero (0D) o riqueza de especies; 2) la diversidad del orden uno (1D) o exponencial del índice de Shannon, que pondera la diversidad por la abundancia relativa de las especies; y 3) la diversidad del orden dos (2D), o inverso del índice de Simpson, que toma en cuenta las especies más abundantes.

CÓMO SE APLICAN LOS NÚMEROS EFECTIVOS DE ESPECIES

Para ejemplificar el uso de los números efectivos, presentaremos el caso de tres localidades en las que se realizó recolecta de insectos con el fin de identificar cómo la perturbación humana (por ejemplo,

la implementación de cultivos y sistemas de pastoreo para ganado) ha afectado la diversidad en los bosques secos tropicales. En nuestro ejemplo, usaremos la Figura 2, donde la primera localidad corresponde a un bosque nativo, la segunda al borde del bosque y la localidad 3 a un área con perturbación antrópica.

En el bosque nativo se obtuvieron los siguientes valores de diversidad: $^0D=57$, $^1D=28$ y $^2D=16$. Para el borde del bosque: $^0D=50$, $^1D=20$, $^2D=14$. Finalmente, para el área perturbada: $^0D=40$, $^1D=15$ y $^2D=10$.

Es importante notar que, a diferencia de los índices tradicionales, acá es posible hacer una comparación entre las localidades en términos numéricos, los cuales pueden ser interpretados de una forma más sencilla; por ejemplo, el bosque presenta siete especies más que el borde del bosque y 17 más que las áreas perturbadas, en términos de riqueza. Igualmente, el bosque presenta 8 especies efectivas más que el borde del bosque y 13 que las áreas perturbadas (diversidad de Shannon). Finalmente, el bosque presenta dos especies efectivas dominantes más que el borde del bosque y seis más que las áreas perturbadas (diversidad de Simpson).

En general, se observa una tendencia hacia la disminución del número de especies (0D) conforme se avanza desde el bosque nativo hacia el área perturbada. Respecto al número de especies efectivas (1D), el bosque nativo tiene más diversidad que las



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2008.

otras dos localidades, y lo mismo ocurre con el número de especies dominantes (2D). Esto sugiere que, en general, la perturbación antrópica es un fenómeno que tiene un sustancial efecto negativo en la diversidad.

De esta forma, los números efectivos de especies pueden brindar información más precisa de cómo el impacto antrópico afecta la diversidad de los ecosistemas, tanto a nivel de riqueza, homogeneidad y dominancia.

Aunque nuestro ejemplo es muy simple, para el cálculo de los números de Hill existen diferentes paquetes producidos en el ambiente del software estadístico R (por ejemplo: iNEX, Entropart, entre otros), que permiten su cálculo de forma más eficiente y fácil.

Además, estos paquetes permiten calcular intervalos de confianza, para explorar si existen diferencias significativas entre las comunidades analizadas, en los tres niveles de los números efectivos de especies.

Los números efectivos pueden ser empleados para proponer áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad, más aún cuando los extendemos hacia otras dimensiones de la diversidad biológica, como la filogenética o la funcional. Así, estas medidas nos permitirán tener más información para intentar conocer el número de especies que existe en el planeta.

REFERENCIAS

- Beck J and Schwanghart W (2010). Comparing measures of species diversity from incomplete inventories: an update. *Methods in Ecology and Evolution* 1:38-44.
- Cao Y and Hawkins CP (2019). Weighting effective number of species measures by abundance weakens detection of diversity responses. *Journal of Applied Ecology* 56:1200-1209.
- Chao A, Gotelli N, Hsieh TC, Sander E, Ma KH, Colwell RK and Ellison AM (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs* 84:1557-7015.
- Colwell RK and Coddington JA (1994). Estimating Terrestrial Biodiversity through Extrapolation. *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 345:101-118.
- Guiasu RC and Guiasu S (2012). The Weighted Gini-Simpson Index: Revitalizing an Old Index of Biodiversity. *International Journal of Ecology* 478728.
- Hill M (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* 54:427-432.
- Jost L (2006). Entropy and Diversity. *Okios* 113:363-374.
- Jost L (2007). Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology* 88:2427-2439.
- Jost L y González-Oreja J (2012). Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta zoológica lilloana* 56:3-14.
- Marcon E and Hérault B (2015). entropart: An R Package to Measure and Partition Diversity. 67:26.
- Mora C, Tittensor DP, Adl S, Simpson AGB and Worm B (2011). How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? *PLOS Biology* 9:e1001127.
- Moreno C, Barragán F, Pineda E y Pavón P (2011). Reanalizando la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82:1249-1261.
- Researchgate (2022) Recuperado de: <https://www.researchgate.net>.
- Whittaker R (1960). Vegetation of the Siskiyou mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs* 30:279-338.

Jorge Mercado

Grupo Evolución y Sistemática Tropical

Departamento de Biología y Química

Universidad de Sucre, Colombia

jorge.mercado@unisucra.edu.co

Tania Escalante Espinosa

Grupo de Biogeografía de la Conservación

Facultad de Ciencias

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)



© Enrique Soto. Tehuantepec, Oaxaca XII, 2007.



