elementos

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA • No. 135 • Volumen 31 • julio - septiembre 2024 • $40.00

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

00135
7 52435 06402 6
EXHIBIR HASTA EL 30-SEPTIEMBRE-2024

Sobre la violencia | El agua en la literatura de la imaginación | La organización de las palabras en nuestra memoria | Consumo de fructosa y salud | El riesgo cardiovascular en las mujeres | Flúor en el agua: riesgos y beneficios para la salud | Los caminos de un herbicida peligroso | Inversión de la flecha del tiempo por una computadora cuántica | Uso del entrelazamiento cuántico para medir la función de onda | Sincrotrones y biblias: una mirada a la obra de Gutenberg | Impresión 3D... | Celdas solares orgánicas | El concepto de creatividad en la filosofía de la praxis... | Ética en la era digital | La importancia de la religiosidad intelectual en Jürgen Habermas | Estigmatización y discriminación por obesidad | Murciélagos: ¿héroes o villanos? | Las colecciones biológicas y su papel en la crisis de la biodiversidad | Micorriza para la vida entre metales tóxicos | Plantas que hiperacumulan elementos tóxicos de suelos contaminados | Meiofauna, un mundo diminuto y frágil | El cambio climático y la ganadería en México | Cuauhtémoc | *The Path of Least Resistance* (2017-2021): Gabriela Torres Ruiz

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2019.

S U M A R I O

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

ELEMENTOS
www.elementos.buap.mx
revista trimestral de ciencia y cultura
número 135, volumen 31, julio-septiembre de 2024
director, Enrique Soto Eguibar
subdirector, José Emilio Salceda
diseño y producción gráfica, Mirna Guevara
corrección de estilo, Emilio Salceda y Leopoldo Noyola
sitio web y laboratorio multimedia, Leopoldo Noyola
redes sociales, Mirna Guevara
administración y logística, Lorena Rivera e Ileana Gómez
redacción, 14 Sur 6301, Ciudad Universitaria
Apartado Postal 406, Puebla, Pue., C.P. 72570
email: esoto24@gmail.com

consejo editorial, Itziar Aretxaga (INAOE), Beatriz Eugenia Baca (ICUAP, BUAP), María Emilia Beyer Ruiz (DGDC, UNAM), María de la Paz Elizalde, (ICUAP, BUAP), Ana Lidya Flores Marín (IBERO Puebla), Marcelo Gauchat (FUNDACIÓN FORMA, A. C.), Sergio Segundo González Muñoz (COLPOS Montecillo), Federico Méndez Lavielle (Facultad de Ingeniería, UNAM), Jesús Mendoza Álvarez (CONAHCYT), 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, © Gabriela Torres Ruiz
1ª y 4ª de forros, © Sin título. Fotografía digital, 2020
2ª de forros, © Sin título. Fotografía digital, 2021
3ª de forros, © Limbs No. 1. Fotografía digital, 2017

CINTILLO LEGAL
ELEMENTOS, Año 39, No. 135, julio a septiembre de 2024, 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. Este número se terminó de imprimir en junio de 2024. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

CONAHCYT ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Sobre la violencia 3
Enrique **Soto**

El agua en la literatura de la imaginación 11
Gabriela A. **Vázquez Rodríguez**

La organización de las palabras en nuestra memoria 19
Aline **Minto-García**

Consumo de fructosa y salud 27
Fernando **Martínez Esquivias**, Juan Manuel **Guzmán Flores**

El riesgo cardiovascular en las mujeres 31
J. Ildefonzo **Arocha-Rodulfo**

The Path of Least Resistance (2017-2021) (El camino de la menor resistencia) 37
Gabriela **Torres Ruiz**

Flúor en el agua: riesgos y beneficios para la salud 41
Marine **Ortiz-Magdaleno**, Amaury **Pozos-Guillén**

Los caminos de un herbicida peligroso 49
Licet **Olguín-Hernández**, María Eugenia **Gutiérrez Castillo**

Inversión de la flecha del tiempo por una computadora cuántica 57
A. Akari **Uc Guerra**, Manuel **Ávila Aoki**

Uso del entrelazamiento cuántico para medir la función de onda 63
Irán **Ramos Prieto**, Francisco **Soto Eguibar,** Héctor M. **Moya Cessa**

Sincrotrones y biblias: una mirada a la obra de Gutenberg 67
Raúl Marcó **del Pont Lalli**

Impresión 3D: transformando el futuro 73
Ismael **Mendoza Muñoz**

Celdas solares orgánicas 77
Rodrigo **Ramos Hernández**, Abraham **Méndez Albores**

El concepto de creatividad en la filosofía de la praxis de Adolfo Sánchez Vázquez 81
Iver A. **Beltrán García**

Ética en la era digital 89
Soraia **Silva Prietch**, Josefina **Guerrero García,** Juan Manuel **González Calleros**

La importancia de la religiosidad intelectual en Jürgen Habermas 95
H. C. F. **Mansilla**

Estigmatización y discriminación por obesidad 101
Fidelina **Anastacio-Landa**, Yolanda **Campos-Uscanga**

Murciélagos: ¿héroes o villanos? 107
Miguel **Ortiz-Acosta**, Jorge **Galindo-González**

Las colecciones biológicas y su papel en la crisis de la biodiversidad 113
Arantza **Sánchez Caballero**, Héctor R. **Eliosa León**

Micorriza para la vida entre metales tóxicos 119
L. Gilary **Acosta-Lizárraga**, Ana Angélica **Feregrino-Pérez**

Plantas que hiperacumulan elementos tóxicos de suelos contaminados 125
L. Gilary **Acosta-Lizárraga**, Magdalena E. **Bergés-Tiznado**

Meiofauna, un mundo diminuto y frágil 129
Leonardo **García-Vázquez**, Samuel **Gómez**

El cambio climático y la ganadería en México 135
César Augusto **de la Cruz López**

Cuauhtémoc 141
Julio **Glockner**

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2020.

www.elementos.buap.mx

Sobre la violencia

Enrique **Soto**

Por un lado, tenemos la poesía, el arte, la filosofía y el saber, entre otras actividades humanas que que nos conmueven y llevan a idealizar a nuestra especie. Por otro, existen la guerra, el odio, la venganza, la destrucción y los crímenes atroces que nos hacen cuestionar el sentido de esta especie y la verdadera naturaleza del hombre. Me pregunto: ¿coexiste en cada uno de nosotros el altruismo con una criminalidad potencial? ¿Somos todos ángeles y demonios simultáneamente? O, ¿acaso en algún momento de nuestras vidas se define nuestro futuro, potenciándose el altruismo y la empatía o, por el contrario, toman el control la violencia, el odio y la tendencia criminal y antisocial?

Si ambos potenciales conviven en nosotros, ¿qué determina entonces que comúnmente se tenga un tipo de conducta y no otra?, ¿son las circunstancias el elemento que define nuestra actitud, o es nuestra genética?, ¿podría ser la crianza y el afecto que hemos recibido, o quizás los amigos y las experiencias de la adolescencia? ¿Cómo podemos saberlo? Por otro lado, ¿es el hombre un ser dual, capaz tanto de actos de altruismo que le llevan hasta a sacrificar su vida por otro, así como de una maldad incomprensible, capaz de actos de una violencia indescifrable? Tanto la bestia como el noble, el diplomático y el guerrero coexisten en el ser humano. Esta dualidad ha contribuido a salpicar la historia de actos de civilidad admirables y también de las más insondables bajezas.

Para comprender la violencia humana en sus formas más complejas y vislumbrar sus orígenes, es necesario

integrar múltiples perspectivas, niveles de análisis y elementos que nos permitan explorar nuestra conducta. Recientemente, se ha puesto un énfasis especial en los aspectos biológicos de la violencia tanto en el ámbito científico como en los medios de comunicación. No obstante, existe un grupo de intelectuales, principalmente de ciencias sociales, que critica estos estudios por considerarlos reduccionistas y carentes de validez. Ven en ellos una estratagema para justificar intervenciones médicas no solo en delincuentes, sino en cualquier opositor al *statu quo*, como un medio para implementar un control social estatal. Estos críticos argumentan que los factores biológicos desempeñan un papel marginal en la génesis de la violencia, la cual, según proponen, surge principalmente de la marginación social, la pobreza y la falta de oportunidades (Crutchfield y Wadsworth, 2003). Sin embargo, considero que desestimar los componentes biológicos en el estudio de la violencia es igualmente reduccionista y responde más a ideologías que a un interés genuino por entender este fenómeno. Aunque el entorno social es crucial en el comportamiento humano, no es el único determinante de nuestra conducta.

Existen dos formas principales de comportamiento violento: la agresión reactiva y la agresión proactiva (o instrumental) (Manchia *et al*., 2020). Estas formas difieren tanto en su origen como en la biología que las sustenta. La agresión reactiva ocurre en respuesta a una provocación, mientras que la agresión proactiva es motivada por los beneficios que se perciben de la acción agresiva (Walters, 2005). Ambas formas de agresión pueden coexistir y probablemente representen los extremos de un espectro de violencia que es continuo y graduado. Sin embargo, en general, las causas de la violencia no son evidentes y los elementos sociales que participan en el proceso son difíciles de identificar.

En animales, por ejemplo, algunas razas de perros son muy agresivos y son un excelente ejemplo de cómo la crianza selectiva puede enfatizar este aspecto del temperamento en los mamíferos superiores. Así como podemos crear razas de perros pequeños o grandes, blancos o negros, también podemos seleccionar la agresividad en los animales y producir animales particularmente feroces. La pregunta es: ¿en qué medida entre los seres humanos se producen fenómenos de acumulación de genes que conducen a un aumento del temperamento violento? Lo más probable es que la violencia sea un carácter multifactorial bajo la influencia de muchos genes. La conjunción de factores genéticos, factores prenatales y perinatales, condiciones de desarrollo social del individuo y del entorno sociocultural pueden producir un temperamento violento o pacífico (Manchia *et al*., 2020). Es difícil definir con precisión la influencia de cada uno de estos factores; sin embargo, no hay duda de que todos los esfuerzos dedicados a comprender los orígenes de la violencia bien valen la pena. Cabe anotar que las técnicas de genética molecular han generado animales transgénicos, algunos en los que específicamente se ha se privilegiado la expresión de genes que, se supone, están relacionados con la agresividad.La manipulación de genes implicados en las cascadas moleculares de neurotransmisión serotoninérgica, dopaminérgica y vasopresinérgica afecta el comportamiento agresivo ya sea produciendo un aumento o una disminución del mismo, según se induzca una alza o una baja de expresión de dichos genes. Esto demuestra que la genética tiene un papel significativo en el despliegue conductual relacionado con la agresión.

Hasta ahora, parece que solo dos especies, los humanos y ciertos grupos de chimpancés –no todos–, forman grupos para buscar y matar deliberadamente a congéneres que invaden su territorio.

Estos actos violentos, o "crímenes", realizados por los chimpancés machos durante patrullajes territoriales, reflejan en parte su naturaleza violenta. Por otro lado, los bonobos, que son también primos evolutivos de los chimpancés, exhiben un comportamiento contrastante. Conocidos por su tranquilidad y un estilo de vida altamente erótico, los bonobos intercambian sexo por comida y parecen vivir en lo que podría describirse como un paraíso terrenal (de Waal, 2006), aunque cabe mencionar que esta percepción sobre los bonobos ha sido recientemente cuestionada.

NEUROBIOLOGÍA Y VIOLENCIA

Aunque los seres humanos luchan constantemente con sus instintos y pulsiones, poseen un neocórtex avanzado que les permite controlar emociones, así como crear mitos, creencias, teorías fundamentales e incluso la ilusión del libre albedrío para desarrollar sus opciones de vida. Existen, sin embargo, sistemas cerebrales específicos asociados con la expresión emocional y la ira. La ira es un mecanismo de defensa natural. No obstante, los comportamientos emocionales tienen una capacidad limitada de modulación y pueden volverse incontrolables. Los expertos coinciden en que los sistemas que median la ira y las conductas violentas incluyen principalmente estructuras como la amígdala, regiones hipotalámicas, la circunvolución del cíngulo y la sustancia gris periacueductal, entre otras (Manchia *et al*., 2020). Estas áreas están interconectadas en una o varias redes neurales que juegan un papel crucial en los procesos de sociabilidad, así como en la agresividad y la violencia.

Para comprender la violencia humana en sus formas más complejas, como el crimen organizado, es crucial reconocer el papel de ciertas regiones corticales, probablemente las frontales y orbitofrontales. Estas áreas están implicadas en la planificación de actividades y en la evaluación de las consecuencias de nuestras acciones, y en conjunto añaden una capa de complejidad al comportamiento violento (y al afiliativo). Existe una asociación reconocida entre el comportamiento violento impulsivo y los bajos niveles de serotonina en estas regiones corticales. Por ejemplo, individuos con trastornos de personalidad y alcoholismo suelen tener niveles reducidos de serotonina (Volavka, 1999). Además, se ha observado que la depresión cortical causada por el alcohol puede desencadenar nuestros "demonios internos". Surgen las preguntas: ¿cómo la incorporación a un grupo criminal puede transformar a una persona en un criminal empedernido? ¿Es posible que estos individuos ya presenten alteraciones cerebrales, o que las actividades criminales induzcan cambios en su actividad neuronal y alteraciones en la química cerebral? Para responder a estas interrogantes, sería necesario medir la actividad cerebral de los sujetos antes y después de desarrollar patologías sociopáticas.

Está documentado que existe una asociación significativa entre la violencia y los trastornos mentales; la incidencia de violencia en pacientes con trastorno mental es cuatro veces mayor que en aquellas personas sin trastornos conocidos (Carpinello y Mencacci, 2020). Por otro lado, una condición conocida como síndrome de Williams (o de de Williams-Beuren) presenta características opuestas, incluyendo una sociabilidad extremadamente alta y un notable talento musical. Los individuos afectados son excepcionalmente afables e hipersociables. Este síndrome está relacionado con una microdeleción homocigótica de aproximadamente 28 genes en el cromosoma 7q11.23. El síndrome de Williams ilustra cómo los factores genéticos pueden contribuir a la sociabilidad y la bonhomía, y evidencia que, además de los factores socioculturales, existen elementos biológicos genéticos que influyen en el temperamento humano.

Si consideramos que los humanos hemos diezmado los campos y los océanos y desestabilizado el clima planetario, y que tenemos una capacidad probada para aniquilar a nuestros congéneres, entonces, el calificativo de depredadora es perfectamente aplicable a nuestra especie.

IDEAS SOBRE EL ORIGEN DE LA VIOLENCIA

Las ideas que relacionan la apariencia física de los individuos con su conducta representan algunos de los primeros esfuerzos por entender el comportamiento humano. Cesare Lombroso (1835-1909), conocido también como Ezechia Marco Lombroso, fue uno de los precursores en desarrollar teorías que vinculan características faciales y craneales con la conducta, especialmente en términos de agresividad y patologías mentales. Según Lombroso, el destino humano podría estar predefinido desde el nacimiento a través de nuestra apariencia física. Este enfoque dio lugar a la fundación de la antropología criminal, un campo que propone que ciertos rasgos físicos,

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 1. Díptico, fotografía digital, 2019.

como las asimetrías craneales, las formas particulares de la mandíbula, orejas y cejas, así como una frente inclinada, están asociados con una tendencia innata hacia la delincuencia. Lombroso observó que esta predisposición delictiva era prácticamente irremediable, aunque no descartó la influencia de otros factores ambientales y presentó evidencias de que la temperatura podría tener un efecto significativo en la criminalidad, con altas temperaturas correlacionándose con un aumento en la delincuencia.

Lombroso describió a los asesinos habituales con detalles físicos específicos, como una mirada vidriosa y fría, nariz aguileña, mandíbulas fuertes, orejas largas, pómulos anchos, pelo crespo y oscuro, barba escasa, labios delgados y frecuentes movimientos faciales que revelan los caninos, sugiriendo una expresión de burla o amenaza.

Interesantemente, y a propósito del asunto el cual nos compete en este texto, Lombroso sostenía que el genio y la locura formaban parte de un continuo, dos caras de la misma moneda. Esta creencia lo llevó a reunirse con el célebre escritor ruso León Tolstoi, buscando profundizar en la base de sus teorías. Sin embargo, el encuentro no fue tan fructífero como Lombroso esperaba; para su desilusión, Tolstoi no exhibió los rasgos de locura que Lombroso anticipaba en una persona de gran genialidad (Mazzarello, 2001).

Es relevante mencionar los estudios relacionados con Phineas Gage, un trabajador estadounidense del ferrocarril que en 1848 sufrió un accidente dramático. Mientras instalaba unas vías, una barreta de hierro penetró su cráneo, destruyendo parte significativa de sus lóbulos frontales. Gage sobrevivió al accidente, pero experimentó un cambio radical en su personalidad: de ser un hombre afable y competente, se transformó en alguien irreverente, impaciente y voluble, incapaz de llevar a cabo sus planes. Según relatos de sus amigos, "ya no era Gage". Gracias al doctor John Martyn Harlow, que lo atendió después del accidente, luego de su muerte se recuperaron tanto su cráneo como la barreta implicada, los cuales fueron posteriormente exhibidos en el Museo Anatómico Warren de la Facultad de Medicina de la Universidad de Harvard. En 1994, más de un siglo después de su muerte, un equipo de investigadores liderado por Hanna Damasio logró determinar con precisión el daño cerebral sufrido por Gage, confirmando el papel crucial de los lóbulos frontales en la regulación del comportamiento. Este caso destaca que las regiones frontales y temporales del cerebro son esenciales en el diálogo entre emoción y razón, influyendo profundamente en cómo una persona responde a estímulos, comprende el lenguaje y maneja situaciones complejas.

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 38. Díptico, fotografía digital, 2019.

Los estudios que demuestran la participación de la corteza cerebral en la expresión de emociones como la furia y la agresividad incluyen experimentos realizados en gatos a los que se les ha eliminado la corteza cerebral experimentan un fenómeno conocido como "falsa furia". En este estado, estímulos que normalmente serían irrelevantes provocan reacciones que imitan los signos corporales típicos de la furia real: erizamiento del pelo, contracción de las pupilas, extensión de las extremidades, encorvamiento del lomo y exhibición de los dientes, como si el animal estuviera a punto de atacar, aunque no sigue adelante con el ataque. Esto evidencia que la corteza cerebral tiene un papel inhibidor crucial en la modulación de la conducta violenta.

INTERVENCIONES PARA EL CONTROL DE LA VIOLENCIA

Hasta ahora, la ciencia ha adoptado en muchos casos un enfoque reduccionista que ha llevado a resultados desafortunados al intentar ofrecer soluciones para controlar la violencia. Un ejemplo notable se encuentra en los trabajos de Rodríguez Delgado, a principios de la década de 1950, quien utilizó la estimulación eléctrica en diversas áreas del cerebro. Sus estudios incluyeron la agresividad en toros de lidia, animales seleccionados genéticamente por generaciones debido a su comportamiento agresivo. Rodríguez Delgado descubrió que la estimulación eléctrica podía provocar movimientos como giros de cabeza, flexiones de piernas y vocalizaciones. Sin embargo, el hallazgo más impactante fue su capacidad de detener abruptamente la embestida de un toro bravo y suprimir cualquier hostilidad en el animal. Posteriormente, aplicaciones similares se exploraron en humanos; por ejemplo, mediante la electrocoagulación de una región específica de la amígdala en una paciente con ataques de ira impredecibles, se logró controlar dichos episodios. Estos resultados impulsaron la idea de controlar el comportamiento mediante electrodos implantados en áreas específicas del cerebro, como se discute en el libro de Rodríguez Delgado, *Control físico de la mente: hacia una sociedad psicocivilizada* (1983), muestra de las altas expectativas que sus investigaciones suscitaron.

Se ha descubierto posteriormente que la estimulación eléctrica de ciertas áreas de la amígdala, un núcleo cerebral asociado con las respuestas emocionales, tiene efectos variados en el comportamiento de ataque en gatos. Según investigaciones de Eggers y Flynn (1967), estimular algunas partes de la amígdala generalmente suprime el comportamiento de ataque que se provoca por la estimulación del hipotálamo.

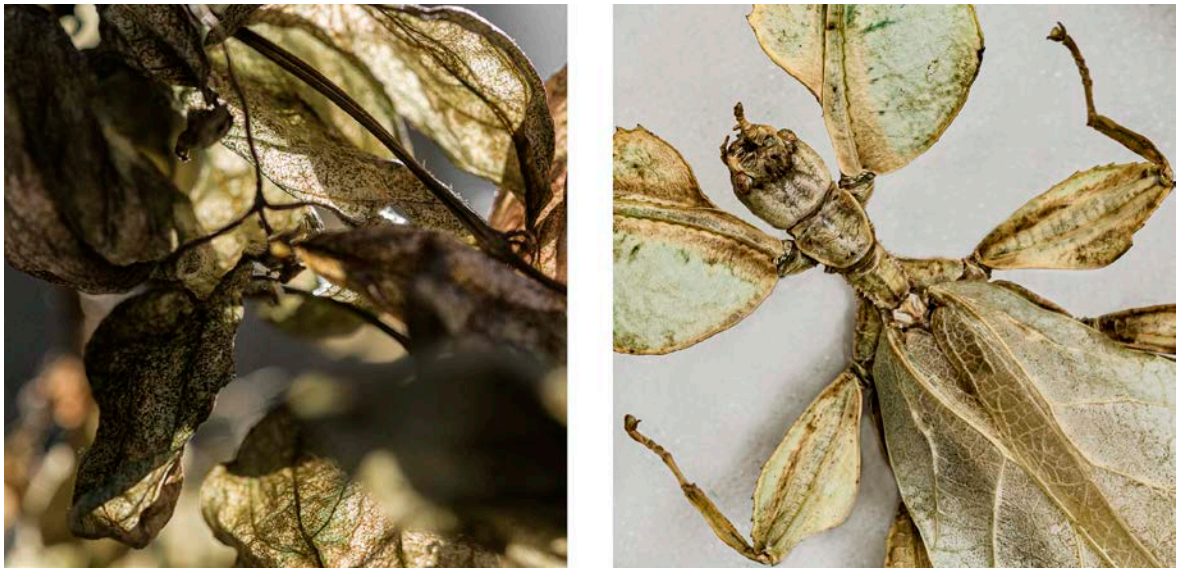
© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 7. Díptico, fotografía digital, 2019.

En contraste, la activación de otras áreas de la amígdala puede facilitar el comportamiento de ataque; se trataría, pues, de un mecanismo de "encendido y apagado" para el comportamiento agresivo. Este hallazgo subraya el complejo papel que juega la amígdala en la regulación de las emociones y las conductas agresivas. Desde una perspectiva pragmática y reduccionista, a mediados del siglo pasado se llevaron a cabo diversas formas de psicocirugía para controlar la violencia, que incluían la remoción de ambos lóbulos temporales y la implantación de electrodos en la amígdala. Generalmente, los resultados de estas intervenciones fueron pobres y están mal documentados. Al día de hoy, aún se realizan algunas formas de psicocirugía por recomendación de especialistas en psiquiatría, principalmente en pacientes con esquizofrenia paranoide o en individuos con retraso mental que presentan hipersexualidad o agresividad incontrolable (García-Muñoz *et al*., 2019). Aunque estos procedimientos pueden eliminar síntomas como la furia o la hipersexualidad, los cambios cognitivos más sutiles que pueden surgir como consecuencia de dichas cirugías no han sido adecuadamente evaluados.

Un antecedente notable –y patético– en la historia de la psicocirugía es el de Antonio Egas Moniz (1874-1955), quien recibió el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1949 por su "descubrimiento del valor terapéutico de la lobotomía en ciertas psicosis". Durante la década de 1930, cientos de pacientes psiquiátricos fueron sometidos a lobotomías frontales utilizando una técnica rápida que implicaba insertar un estilete a través del techo de las órbitas oculares y moverlo lateralmente, cortando así las conexiones del lóbulo frontal con el resto del cerebro.

Los pacientes agresivos o problemáticos adoptaban estados de calma absoluta. Hoy en día, sin embargo, la lobotomía es considerada una forma de tortura y está prohibida. Los factores sociales y culturales que propiciaron la adopción de la lobotomía, electrochoques y terapias con insulina, relacionados con el hacinamiento en instituciones psiquiátricas y la presión social de aquel tiempo, han cambiado significativamente. En un giro irónico del destino, en 1938, Egas Moniz fue paralizado por el resto de su vida después de que un paciente psiquiátrico le disparara ocho veces, alegando que Moniz no le había proporcionado el tratamiento adecuado para su enfermedad (Tan y Yip, 2014).

Actualmente, la violencia en individuos que no pueden controlar su ira se maneja principalmente mediante psicoterapia complementada con el uso de fármacos antipsicóticos. En casos específicos, como en aquellos asociados con el consumo de



© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 23. Díptico, fotografía digital, 2019.

alcohol, se recomienda el uso de fármacos antiepilépticos. A pesar de estos avances en el tratamiento farmacológico y psicoterapéutico, ha habido intentos recientes de reintroducir la psicocirugía como método para tratar adicciones, trastornos alimentarios y autismo. Sin embargo, estas propuestas no han sido aprobadas debido a preocupaciones éticas y de seguridad (Lévêque, 2014).

MECANISMOS SOCIALES PARA EL CONTROL DE LA VIOLENCIA

Prevenir conductas violentas y evitar actos de agresión ha sido un objetivo constante en diversas sociedades que han desarrollado múltiples mecanismos sociales y culturales para este fin. Expresiones como "gracias", "por favor" y "disculpe" son herramientas lingüísticas destinadas a suavizar nuestras interacciones diarias. Además, la amenaza de encarcelamiento actúa como un fuerte disuasivo que impide que la mayoría de las personas cometan actos violentos. El castigo por agresiones es una constante en todas las sociedades y ha contribuido al control de la violencia durante siglos. Sin embargo, la mera amenaza de castigo no es suficiente para erradicar la violencia por completo; factores como el bienestar social, el respeto a los derechos humanos y unas condiciones económicas y laborales estables son cruciales en el proceso civilizatorio que apunta hacia la reducción significativa de la violencia. La educación juega un papel esencial, especialmente cuando fomenta la percepción de igualdad entre todos los seres humanos, independientemente de su color, creencias, nacionalidad o etnia. El desarrollo de la empatía, que permite a un individuo verse reflejado en otro y promover un diálogo de igual a igual, es fundamental. Estos son mecanismos sociales que conducen al control de la violencia y pueden prevenir el desarrollo de actos violentos individuales, y podrían, quizá, mitigar los de orden colectivo a nivel nacional.

La guerra constituye un caso particular de violencia, y uno podría pensar legítimamente que, en el mundo moderno, las guerras deberían estar casi extintas. Pero no: los nacionalismos sociopolíticos, las creencias religiosas y los intereses económicos son elementos principales que impulsan conflictos en diversas regiones. Estos factores no solo precipitan guerras, sino que también influyen en cómo se conceptualiza y se vive el conflicto por las partes involucradas. El aspecto de "matar o morir" refleja la brutal realidad del soldado o combatiente en la guerra, un tema que ha sido explorado en muchas obras literarias y estudios sociológicos. La transformación de ciudadanos pacíficos en guerreros es

una de las tragedias más profundas de los conflictos bélicos, ya que implica no solo el cambio físico necesario para combatir, sino también un cambio psicológico profundo y a menudo traumático. El fenómeno de deshumanización del enemigo es una herramienta psicológica crucial que permite a los individuos superar la aversión natural a matar a otros seres humanos. Este proceso de deshumanización facilita actos de violencia extrema y es un componente esencial de la maquinaria de guerra que puede llevar a que el ser humano despliega su crueldad, a que suprima toda empatía y, –ratatatata, mata-mata-mata– a que asesine sin remordimiento aparente.

CONCLUSIÓN

Seremos testigos del desarrollo de nuevas terapias, seguramente de carácter químico, dirigidas al control de la conducta y con un énfasis especial en la violenta. Esto no es nuevo y se basa en la premisa de que las alteraciones en la neuroquímica cerebral pueden influir significativamente en el comportamiento. La ética de estas intervenciones es un tema de debate. La presión social en esta dirección es significativa y habrá muchas personas interesadas en "ayudar a resolver este problema" mientras llenan sus bolsillos. Por un lado, hay un potencial evidente para ayudar a individuos que luchan con impulsos violentos inmanejables; por otro, existe el riesgo de abuso y de socavar la autonomía individual bajo el pretexto de un bien mayor. Esta tensión refleja la preocupación más amplia sobre cómo la ciencia y la tecnología pueden ser usadas para el beneficio de la sociedad.

Hoy, la humanidad sin máscara, mostrándose como el gran depredador que es entre todas las especies de seres vivos, se enfrenta al cambio climático y a su propia, potencial extinción; de ahí que sean previsibles el hambre, la escasez de agua y la precariedad social y laboral. En otras palabras, la ruptura de los elementos sociales que permiten mitigar la violencia. En consecuencia, el panorama más factible es que, dentro de no muchos años, estaremos inmersos en un mundo de mayor violencia, tal como han imaginado algunos escritores que han explorado temas de desesperación y supervivencia en condiciones extremas (McCarthy, 2006).

Frente a estos desafíos, hay una necesidad urgente de estrategias proactivas y preventivas que no solo aborden los síntomas de la violencia, sino también sus causas fundamentales. Aunque creo que ya es demasiado tarde.

REFERENCIAS

Carpinello B, Vita A and Mencacci C (2020) Violence as a social, clinical, and forensic problem. In: *Violence and Mental Disorders.* Carpiniello, B.; Vita, A.; Mencacci, C. Eds.; Springer Nature Switzerland AG, pp. 25-48.

Crutchfield RD and Wadsworth T (2003) Poverty and Violence. In: *International Handbook of Violence Research*. Heitmeyer, W.; Hagan, J. Eds. Springer; Dordrecht., pp. 67-82.

De Waal F (2007). El mono que llevamos dentro. Metatemas, Tusquets Eds.

Egger DM and Flynn JP (1967) Further studies on the effects of amygdaloid stimulation and ablation on hypothalamically elicited attack behavior in cat. *Progress in Brain Research* 27:165-182.

García-Muñoz L, Carrillo-Ruiz JD, Favila-Bojórquez J, López-Valdés JC and Jiménez-Ponce F (2019). Tratamiento de la agresividad refractaria mediante amigdalotomía e hipotalamotomía posteromedial por radiofrecuencia. *Rev Neurol* 68:91-98. DOI:https://doi.org/10.33588/rn.6803.2018158.

Lévêque M (2014). *Psychosurgery. New Techniques for Brain Disorders*. Springer.

Manchia M, Booij L, Pinna F, Wong J, Zepf F and Comai S (2020). Neurobiology of Violence. In: *Violence and Mental Disorders.* Carpiniello B, Vita A, Mencacci C. Eds.; Springer Nature Switzerland AG, pp. 25-48.

Mazzarello P (2001). Lombroso and Tolstoy. Nature 2001; 409:983

McCarthy C (2006). *The road.* Alfred A. Knopf: NY.

Rodríguez Delgado JM (1983). *Control físico de la mente. Hacia una sociedad psicocivilizada.* Espasa-Calpe: Madrid.

Tan SY and Yip A (2014). António Egas Moniz (1874-1955): Lobotomy pioneer and Nobel laureate. *Singapore Med J*. 55(4):175-176. DOI:10.11622/smedj.2014048.

Volavka J (1999). The Neurobiology of Violence. An Update. *J Neuropsychiatry Clin*, 11, 307-314. doi:10.1176/jnp.11.3.307.

Walters GD. (2005) Proactive and Reactive Aggression: A Lifestyle View. In, *Psychology of aggression* J. P. Morgan, Ed.; Nova Science Publishers. pp. 29-43.

Enrique Soto Eguibar
Laboratorio de Neurofisiología Sensorial
Instituto de Fisiología
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
esoto24@gmail.com

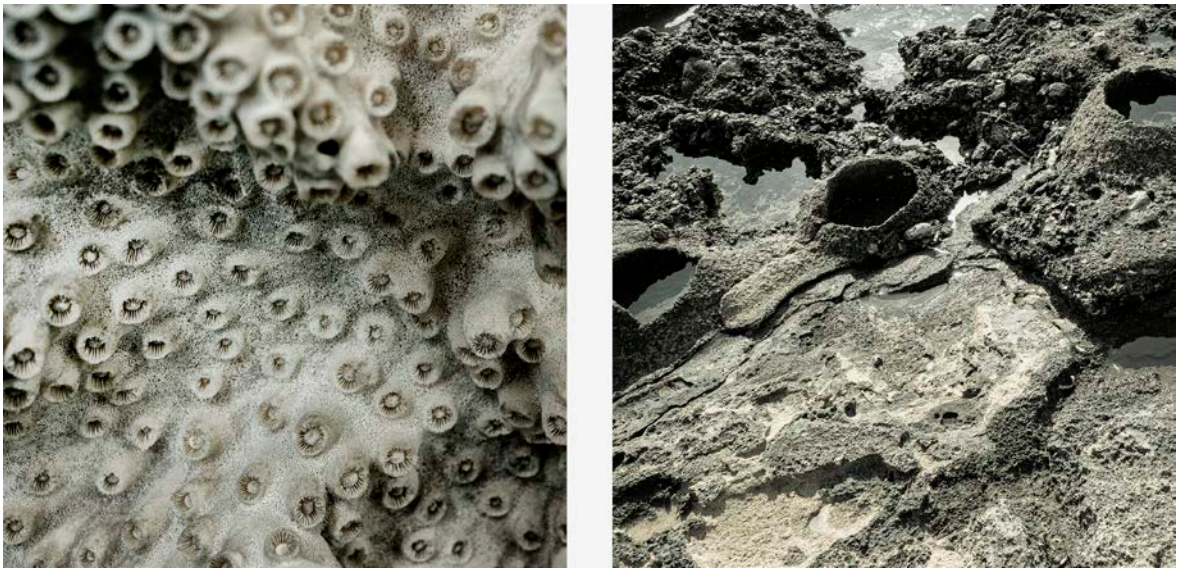
www.elementos.buap.mx

El agua en la literatura de la imaginación

Gabriela A. **Vázquez Rodríguez**

La ecocrítica es el campo de análisis que surge de la confluencia entre la preocupación ambiental y la crítica literaria. Nacida de la hibridación, reconoce que la literatura es un medio para la enseñanza y la práctica de la complejidad, y considera a la naturaleza no como mero escenario en el que sucede una historia, sino como un sujeto, más que como un objeto. La ecocrítica aporta una mirada no antropocéntrica de la naturaleza desde la otredad extrema que esta supone; además, al retomar el papel de los relatos en la construcción de nuevos imaginarios, busca deconstruir la idea de que la naturaleza es una mera pila de recursos más o menos listos para su aprovechamiento.

Uno de los géneros preferidos para el abordaje ecocrítico es la ciencia ficción, que es una vertiente de lo que el escritor mexicano Alberto Chimal denomina simplemente "literatura de la imaginación". La ciencia ficción ofrece un escenario para que se explore, desde un presente que se antoja cada vez más tambaleante, el vértigo que produce el porvenir. Numerosas plumas alrededor del mundo han engendrado inquietantes versiones de futuros posibles, que más desazonan en tanto más se enraízan en los males reconocibles del presente, entre los cuales se encuentra, por supuesto, el deterioro ambiental. De hecho, la exploración de la relación que la especie humana ha entablado con la naturaleza, atravesada por las tecnologías, está



© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 35. Díptico, fotografía digital, 2020.

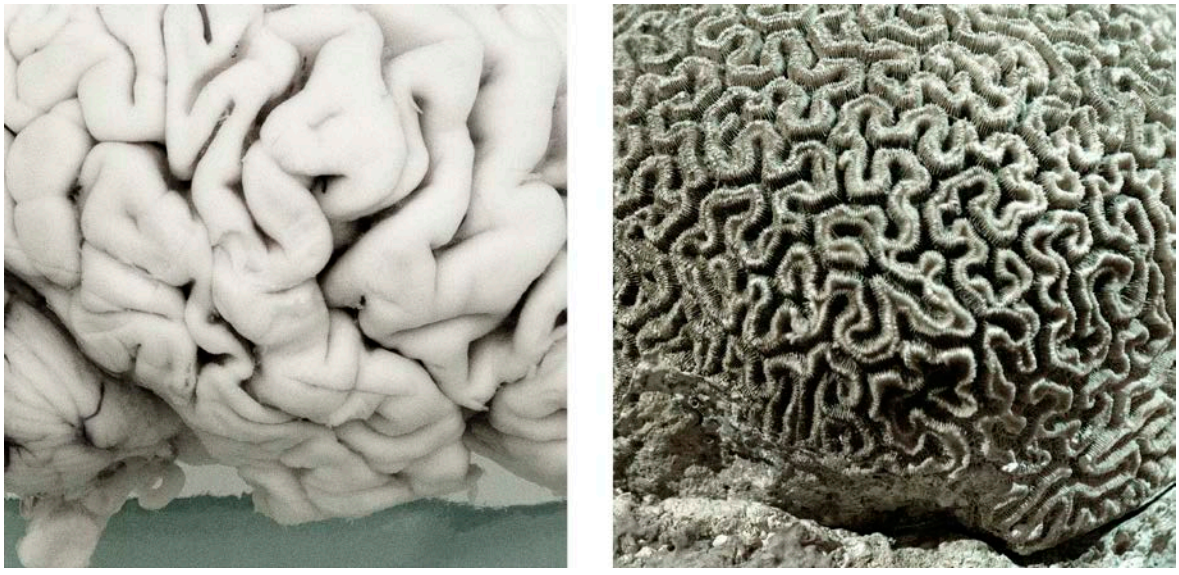
en el origen mismo de la ciencia ficción, que Isaac Asimov ubica en *Frankenstein*, de Mary Shelley.

En la introspección y prospección que la ciencia ficción hace acerca de la relación sociedad-naturaleza no faltan las catástrofes, de las que pueden distinguirse tres tipos: las de origen terrestre (o cósmico), las causadas por alienígenas y las que resultan de la humanidad misma (Bastien van der Meer, 2018). En los escenarios derivados de estas catástrofes literarias, el agua aparece como elemento cuya escasez o demasía aporta un dramatismo adicional. Por una parte, quienes vivimos en zonas en donde la disponibilidad del agua es un problema cotidiano, podemos sentirnos interpelados por la enorme vulnerabilidad de nuestra especie frente a la falta de este recurso; por otra parte, esta vulnerabilidad no es menor cuando el agua se presenta en torrentes incontrolables, tal y como ocurre, por ejemplo, en los eventos climáticos extremos que caracterizan al Capitaloceno.[1]

Dado que la ecocrítica puede referirse al agua no solamente como el recurso indispensable que es, sino poniendo en valor su dimensión social y su protagonismo en la memoria e identidad de los pueblos, es un elemento valioso de lo que se ha denominado "la cultura del agua" (Martos-Núñez, 2012). Los estudiosos de la cultura del agua reconocen realidades hídricas complejas con una perspectiva histórico-cultural que no puede provenir solo de los estudios tecnocientíficos; conceden importancia a los usos sociales, al patrimonio intangible vinculado al agua, a la simbología, la memoria e imaginarios colectivos. En este trabajo se hará una aproximación ecocrítica a la literatura de la imaginación que se ha referido al agua. Después de presentar un breve recuento de los símbolos asociados al agua, nos enfocaremos en dos textos de sendas escritoras latinoamericanas: el cuento "Como quien oye llover", de Andrea Chapela (*Ansibles, perfiladores y otras máquinas de ingenio*, Almadía, 2020) y la novela corta *Distancia de rescate*, de Samanta Schweblin (Almadía, 2014). Se analizará cómo estas escrituras, en las que el agua es protagonista, retoman las preocupaciones ambientales de nuestro tiempo, mientras ofrecen una mirada crítica al deterioro que el Capitaloceno impone sobre ciertos paisajes y cuerpos.

SIMBOLOGÍA DEL AGUA

En las cosmogonías arcaicas es muy frecuente el tema del agua, que simboliza el misterio del nacimiento y la muerte o disolución, ya sea del individuo o del universo. Desde la Antigüedad se le ha identificado como la sustancia elemental de todo lo que existe, o el principio último de la vida; por



© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 9. Díptico, fotografía digital, 2019.

ello quizá es un elemento femenino que desde el vientre materno cuida y acuna (Lozano, 2006). Se ha visto en ella el elíxir de la inmortalidad, la puerta de acceso a lo sagrado, el origen de la memoria y del olvido, y por encarnar como pocas sustancias el problema del cambio y la permanencia, es el medio de curación, regeneración y purificación por excelencia (Espinosa, 2011).

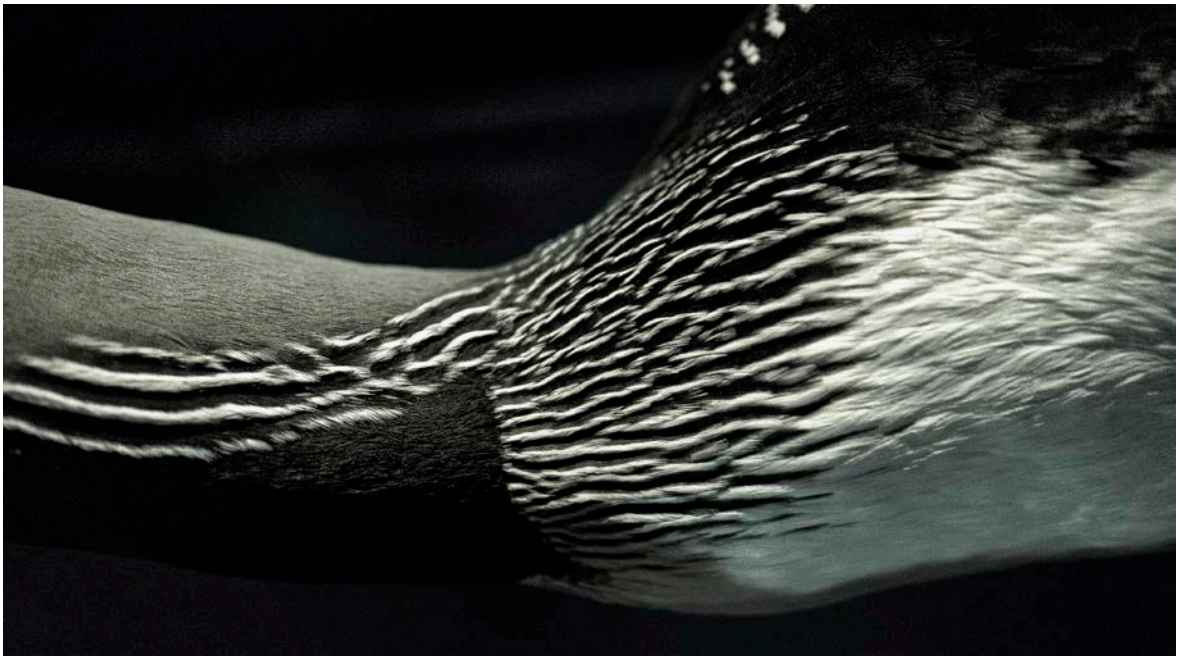
Igualmente, en la historia de la cultura abundan los registros que asocian al agua con la belleza, la armonía y el misterio de lo real. Es así como el peso simbólico del agua, aunado a su innegable materialidad, ha alimentado en más de un sentido a la humanidad, y de un modo distinto al de los demás elementos naturales (Espinosa, 2011).

Como Proteo, dios del mar, el agua adopta múltiples formas (Lozano, 2006), por lo que también es una fuerza caótica a la que se le teme desde tiempos inmemoriales. El agua protege, pero también devasta: alberga monstruos como Leviatán o Moby Dick, y aniquila por demasía o por ausencia. Según Immanuel Kant, es en esta capacidad para causar temor que reside su carácter sublime, y se accede a él siempre que se esté a salvo:

> El océano sin límites, rugiendo de ira, una cascada profunda en un río poderoso, reducen nuestra facultad de resistir a una insignificante pequeñez, comparados con su fuerza. Pero un aspecto es tanto más atractivo cuanto más temible, con tal de que nos encontremos en lugar seguro, y llamamos sublimes a los objetos que elevan las facultades del alma por encima de su término medio ordinario. (En Cordero, 2015)

El carácter sublime del agua, notoriamente derivado de su inmensidad y abundancia, es un tropo común de la literatura. No debería ser extraño, que la más antigua obra literaria escrita, la *Epopeya de Gilgamesh*, aborde este tema y sea la primera que recoja el mito del diluvio. Muchas otras obras tratan las inundaciones como resultado de la voluntad divina o de la imprevisión de los hombres; en la Ilíada, el Escamandro es un dios/río que toma partido contra Aquiles en la guerra de Troya, y lo hace desbordándose para oponerse a su avance.

En la modernidad, la desacralización progresiva de la naturaleza ha llevado a que el agua, al igual que los bosques, el suelo y prácticamente cualquier elemento terrestre, fuera perdiendo ese carácter sublime. En paralelo, se fue implantando una percepción utilitarista que le atribuye un valor a la naturaleza en la medida en que cumpla una función definida por el mercado, gracias a lo cual



© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2019.

esta ha quedado semánticamente reducida a un almacén de recursos, materias primas, *commodities* o "capital natural". En la literatura, el abordaje del tema del agua se fue entretejiendo con las decisiones y obras humanas desmesuradas que desencadenan catástrofes imprevistas. Así, inspirado en personajes históricos relacionados con la construcción del canal de Suez, Jules Verne relata en *La invasión del mar* cómo un terremoto le abre paso al Mediterráneo en el Sahara, adelantándose a un proyecto de ingeniería que pretendía el mismo objetivo (Bastien van der Meer, 2018).

Tras el surgimiento del ambientalismo como corriente contracultural hacia la década de 1960, son las catástrofes imaginables en el contexto del Capitaloceno las que predominan en las obras de ciencia ficción (Bastien van der Meer, 2018). De hecho, por sí solo, el cambio climático es objeto de lo que se llama ficción climática (*climate fiction*, o Cli-Fi), entre cuyos autores insignia se encuentran J. G. Ballard y Margaret Atwood. J. G. Ballard es el autor de *El mundo sumergido* y *La sequía*, que se desarrollan en futuros castigados por el exceso y la escasez de agua, respectivamente. Es el escenario de la penuria crónica de agua el que prima en el imaginario postapocalíptico de *Dune*, de Frank Herbert, o *La carretera*, de Cormac McCarthy, así como en innumerables películas, de *Interstellar* (Christopher Nolan) a *Rango* (Gore Verbinski), por mencionar solo algunas.

CATÁSTROFES LÍQUIDAS

En México, la ciencia ficción se desarrolla desde los márgenes, pero con vitalidad, según Itala Schmelz. Esta autora encuentra que, a diferencia de los relatos provenientes del Norte Global, que suelen interesarse en las innovaciones tecnológicas, los textos mexicanos se enfocan en los aspectos políticos y sociales que el futuro podría conllevar. Asimismo, Schmelz no encuentra en los textos mexicanos héroes salvadores ni finales felices, sino visiones descarnadas del devenir (Schmelz, 2012).

La Ciudad de México es el escenario preferido de estos relatos sombríos, como se espera de una ciudad en la que el apocalipsis se vive a plazos, a decir de Carlos Monsiváis. Los grandes e icónicos espacios públicos, como el Zócalo o el Bosque de Chapultepec, se presentan como lugares asolados en donde se escenifica la lucha por la supervivencia. Y por razones obvias, la destrucción de la urbe suele venir de

la mano de movimientos telúricos, como en el cuento "El año de los gatos amurallados", de Ignacio Padilla, aunque también puede deberse al impacto de un meteorito, como sucede en el relato "Las últimas horas de los últimos días", de Bernardo Fernández (Bef).

La obra de la capitalina Andrea Chapela está dándole nuevos bríos a la literatura de la imaginación hecha en México. Uno de los rasgos de su escritura es su filiación por los temas científicos, que ella desarrolla con soltura por su formación académica. Así, en su volumen de cuentos *Ansibles, perfiladores y otras máquinas de ingenio*, la autora crea artefactos verosímiles y de toda índole, capaces de conectar mentes en una nube, predecir la posibilidad de un romance o "resetear" la memoria.

En "Como quien oye llover", la Ciudad de México sufre el embate de lluvias casi constantes que terminan por inundar esta cuenca endorreica y hacen resurgir su pasado lacustre. A diferencia de Georgina Cebey, quien en su ensayo *Arquitectura del fracaso* reivindica el corazón de piedra y cantera de la ciudad, Andrea Chapela le regresa su naturaleza acuática, e imagina que calles y edificios completos han sido cubiertos por agua. Los más privilegiados de sus habitantes se han desplazado a las orillas, mientras otros tantos retomaron las chinampas como sustrato en el que viven y cultivan. Entre las sempiternas lluvias se intercalan breves períodos secos, que para los neochilangos son motivo de celebración. Es en uno de estos días de fiesta que se conocen las dos protagonistas humanas de la historia, la futura ingeniera Axóchitl, y Nesmi, la artista. Axóchitl ("flor de agua" en náhuatl) pertenece al sector social que por su pobreza está obligado a vivir en las chinampas y a desplazarse en lancha, pero no solo se ha adaptado a ese ecosistema ancestral, sino que se siente unida a él. Por el contrario, Nesmi se ha recluido en tierra firme y anhela partir aún más lejos. El cuento narra el conflicto entre estas dos perspectivas, claramente diferenciadas por su fuerte o inexistente enraizamiento en la ciudad acuática; para Nesmi la ciudad agoniza, mientras que para Axóchitl ha vuelto a su origen. El lago, otrora susurrante, ha recuperado su propia voz y no puede dejar de oírsele.

La ciudad imaginada por Andrea Chapela es a la vez familiar y ajena, una especie de Xochimilco 2.0 en donde los tacos de canasta y las aguas locas coexisten con tatuajes que se mueven y bocinas que vuelan entre la muchedumbre que fiestea, y en donde se despliegan extraños dispositivos como el que Nesmi usa para atrapar los colores de las cosas y usarlos en sus dibujos. De esta ciudad inundada, no obstante, no se desprenden tufos apocalípticos. Cierto es que, para aventurarse en días secos a su lugar especial, el corazón del lago renacido, y apreciar el espectáculo de los domos del Palacio de Bellas Artes que sobresalen del agua, Axóchitl debe escrutar con cuidado el pronóstico de lluvia, sortear remolinos en su lancha y esperar que las lluvias imprevistas no la aíslen por meses del resto de la ciudad. En este lugar el agua es a la vez el sustento y una amenaza constante, y sin embargo es el sitio en el que surge el amor entre las dos protagonistas. El regreso del agua a su cuenca primigenia es asumido con toda naturalidad por la joven Axóchitl, quien solo sabe de la ciudad sedienta por los viejos relatos. Las temibles manifestaciones del cambio climático han representado un retorno, que se antoja eterno, de la ciudad a su pasado acuático, y de sus habitantes a un estadio anfibio.

El relato de Andrea Chapela se inscribe en la tradición que describe cómo los habitantes de la Ciudad de México conviven con el lago agonizante en el que esta se construyó. Otros relatos de ciencia ficción, más embebidos en el panteón náhuatl, también han imaginado el regreso del lago, en una suerte de revancha por la caída que representó la conquista. En *Tiempo lunar*, de Mauricio Molina, el lago también regresa y arrasa. De la ciudad erigida sobre un modelo cosmogónico, cuyo nombre antiguo significa "ombligo de la luna", había surgido un lago, y del fondo de este, la misma luna. El lago caído en desgracia deja de ser el espectro latente tras hundimientos y redes rotas de drenaje, y reaparece como el gran sobreviviente que revindicará al reprimido, al conquistado, al que lo perdió todo. El lago es ese México profundo que se niega a morir subyugado por el invasor.

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 5. Díptico, fotografía digital, 2019.

PROFANACIÓN DEL AGUA EN EL EXTRACTIVISMO SOJERO

Otras catástrofes pueden hallar su cauce a través del agua, incluso si no escasea ni anega. Gracias a los hallazgos de Pasteur, Koch y Snow, se masificó la idea de que el agua y lo que tocara podía causar las temibles epidemias que azotaron Europa hasta el siglo XIX o la muerte. El cólera fue la primera enfermedad asociada al agua, y el terror que provocaba dio origen a la infraestructura urbana de provisión de agua de buena calidad, inicialmente por filtración y luego por cloración. El higienismo se volvió el enfoque preponderante de ordenamiento de muchas ciudades europeas y norteamericanas, y la principal arma con la que se enfrentaba este "nuevo" enemigo invisible. Como no podía ser de otra manera, hay una profusión de obras literarias acerca del cólera que se sumaron a otras tantas que se han escrito alrededor de las pestes.[2¿] Un aspecto menos abordado en literatura es el que asocia al agua con la toxicidad química. En el Capitaloceno se producen 220 mil millones de toneladas anuales de compuestos químicos, principalmente a partir de petróleo, los cuales se dispersan en el ambiente sin que se conozcan sus efectos adversos a la salud humana o a los ecosistemas (Naidu *et al*., 2021).

El biomonitoreo humano ha demostrado que, en todas las personas que se han analizado, se encuentran compuestos químicos desconocidos para las generaciones que nos antecedieron: retardantes de flama, plastificantes o pesticidas, entre otros, constituyen los ingredientes de un coctel que es único a cada habitante del planeta, y que lo afectará de un modo particular. No obstante la amplitud planetaria de este desastre, es más grave en ciertos sitios, puesto que se reproduce a través del colonialismo, el racismo, el patriarcado y otras estructuras de poder que construyen zonas de sacrificio con territorios y cuerpos específicos (Liboiron *et al*., 2018).

De esta manera, la *vida químicamente afectada* se ha vuelto una condición compartida por todos, que nos une tanto como nos separa (Murphy, 2017). El agua es el vehículo, quizá el más importante, a través del cual se extendió esta condición: primero, al facilitar la dispersión de estas sustancias desde sus fuentes antropogénicas originales, y posteriormente al proveer una ruta de entrada a los cuerpos de los habitantes del Capitaloceno.

En *Distancia de rescate*, Samantha Schweblin teje una trama en donde el terror reside menos en las almas que transmigran de un cuerpo a otro que en los agrotóxicos letales esparcidos por doquier. No hace falta llamarlo por su nombre: en esta novela,

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 3. Díptico, fotografía digital, 2017.

la esencia del mal está encarnada en el glifosato, principio activo del Roundup®, que conforma la dupla de la soja transgénica diseñada por Monsanto (ahora Bayer), y que de tal suerte es el pesticida de mayor venta en el mundo. El escenario de esta novela corta es un pueblo argentino en donde el extractivismo agrícola hace estragos en los cuerpos de quienes materializan el "milagro" sojero de ese país. Y es el agua estancada, poluta y necesaria, la que desencadena la muerte; primero de un caballo, y luego de los dos niños protagonistas: David, quien es oriundo del lugar, y Nina, que solo llega al pueblo para veranear con su madre, Amanda. David ha muerto años antes de la visita de Amanda y Nina, pero su madre, Carla, logró revivirlo gracias a un misterioso ritual que permitió que en el cuerpo del niño convivieran su propia alma y un alma externa. Tras el ritual, el niño empezó a comportarse de modo inquietante y se volvió un extraño para su madre. Tiempo después, cuando Nina y Amanda enfermen, será David quien guíe a esta última, moribunda, para que ubique en sus recuerdos el punto cero ("lo que es importante") de la desgracia. Este punto cero no es otro que el del contacto, inadvertido, con el pesticida.

Al igual que en la escritura de su compatriota Mariana Enríquez y de la boliviana Liliana Colanzi, la cotidianidad narrada por Samanta Schweblin va dando paulatinamente lugar a lo sobrenatural: este enrarecimiento no irrumpe de golpe, sino que se va instalando hasta inundar la imaginación de quien lee, gracias a un lenguaje que configura un ambiente siniestro. No obstante, si lo sobrenatural aparece, es porque antes se produjo una trasgresión que para Schweblin es la corrupción del agua por productos tóxicos, y que equivale a la profanación humana de un don sagrado (Castañón-Dávila, 2022). En este ecocidio, que subvierte el valor simbólico del agua, nadie está a salvo. No hay espacio para lo sublime en términos kantianos: el agua tóxica destruye lo que encuentra a su paso, y lo que resta son cadáveres, cuerpos deformes, tierras arrasadas.

Los textos de Andrea Chapela y Samanta Schweblin representan ejercicios de imaginación de futuros inciertos en los que fracasó el sueño de la modernidad, y el dominio humano sobre la naturaleza en general, y sobre el agua en particular, se muestra cual malograda fantasía. En el primer caso, el agua, indomable, ha revertido la afrenta que siglos de obras hidráulicas infligieron a la cuenca del Valle de México para desecarla; en el segundo, el agua impulsa las fronteras del extractivismo agrícola mientras intoxica humanos y no humanos.

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2018.

Los paisajes del Capitaloceno, y los cuerpos que los habitan, han recibido los violentos efectos de la mercantilización de la naturaleza, y llaman a una reflexión acerca de los límites de estas metamorfosis.

NOTAS

[1] En principio, los términos Antropoceno y Capitaloceno designan la época geológica actual, en la que las acciones humanas han dejado su huella en el planeta. No obstante, la idea subyacente al Capitaloceno es que la degradación ambiental no es producto de una humanidad abstracta (implícita en la raíz *antropo*), sino de relaciones económicas y políticas de poder enmarcadas en el capitalismo global.

[2] Una breve lista de las obras que han tratado este tema y, en general, las epidemias, puede encontrarse en "Biblioteca de la Peste" de la revista *Letras Libres* (2020). https://letraslibres.com/literatura/biblioteca-de-la-peste/.

REFERENCIAS

Bastien van der Meer R (2018). Tener o no tener... ¡agua! H_2O en la ciencia ficción. *Nexos*. Recuperado de: https://cultura.nexos.com.mx/tener-o-no-tener-agua-h2o-en-la-ciencia-ficcion/.

Castañón-Dávila MP (2022). Las migraciones del agua: la transformación como símbolo poético y como instrumento de crítica en *Distancia de rescate* (2014), de Samanta Schweblin. Seminario de Estudios sobre Narrativa Latinoamericana Contemporánea. Recuperado de: https://www.senalc.com/2022/06/20/las-migraciones-del-agua-la-transformacion-como-simbolo-poetico-y-como-instrumento-de-critica-en-distancia-de-rescate-2014-de-samanta-schweblin/.

Cordero A (2015). Paisajes de paisajes. Comprensión del paisaje desde la ecología política. En Zizumbo-Villareal L y Monterroso-Salvatierra N (Coords.), *La configuración capitalista de paisajes turísticos* (pp. 23-46). Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Espinosa L (2011). Reflexiones sobre el agua: un espejo de nuestro tiempo. *Dilemata* 6:81-99.

Liboiron M, Tironi M and Calvillo N (2018). Toxic politics: Acting in a permanently polluted world. *Social Studies of Science* 48(3):331-349.

Lozano J (2006). Los sentidos del agua. *Revista de Occidente* 306:9-12.

Martos-Núñez E (2012). Lecturas del agua (símbolos, ecocrítica y cultura del agua). *Nuances: Estudos sobre Educaçao* 22(23):37-56.

Murphy M (2017). Alterlife and decolonial chemical relations. *Cultural Anthropology* 32(4):494-503.

Naidu R, Biswas B, Willett IR, Cribb J, Singh BK, Nathanail CP, Coulon F, Semple KT, Jones KC, Barclay A and Aitken RJ (2021). Chemical pollution: A growing peril and potential catastrophic risk to humanity. *Environment International* 156:106616.

Schmelz I (2012). El DF en tono apocalíptico. La literatura mexicana de ciencia ficción y la Ciudad de México. *Artelogie* 2:7.

Gabriela A. Vázquez Rodríguez
Área Académica de Química
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
gvazquez@uaeh.edu.mx

www.elementos.buap.mx

La organización de las palabras en nuestra memoria

Aline **Minto-García**

La memoria es una extraordinaria capacidad humana para almacenar y extraer información. No solo recordamos nuestras vivencias pasadas, sino también información sobre el conocimiento del mundo, los conceptos y el lenguaje. Específicamente, la memoria semántica es la encargada de acopiar el conocimiento que una persona posee sobre las palabras, tanto del significado como de las relaciones que establece con otras palabras (Ober y Shenaut, 2006; Tulving, 1972). En ese sentido, podríamos decir que la memoria semántica es crucial en el desarrollo del lenguaje. Conforme el bebé va adquiriendo su lengua materna, las palabras que constituyen su vocabulario se van almacenando y organizando en la memoria semántica para que, en el momento en que necesite comunicarse con otros, acceda a ellas, las recupere y, con ellas, construya un mensaje (o bien comprenda el mensaje que ha recibido).

Aunque ha habido diversas propuestas teóricas para explicar cómo se organiza el vocabulario en la memoria semántica, una de las más prolíficas afirma que las palabras se organizan en forma de red: se trata del modelo de ordenamiento semántico basado en la teoría de la propagación de la activación (Collins y Loftus, 1975). Desde esta perspectiva, los nodos de la red representan las palabras y los enlaces configuran la asociación entre las palabras.

De esta forma, las palabras se vinculan con otras palabras constituyendo, así, entramados de nodos que se

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 2. Tríptico, fotografía digital, 2019.

agrupan y conectan entre sí. Para explicar el procesamiento de palabras a partir de esta propuesta teórica, imaginémonos una red en la que un nodo se activa (o se ilumina, si lo pensamos en términos metafóricos); dicho suceso provoca, a su vez, que otros nodos también se activen. Para que esto suceda, la cercanía entre los nodos es un aspecto fundamental: entre más largo sea el enlace que separa a los nodos, la conexión es más débil entre las palabras y la activación de determinado nodo es menos probable (véase Anderson, 1983; Collins y Loftus, 1975). Esta manera en que se estructura la red permite almacenar palabras de forma flexible, así como una recuperación eficiente; asimismo, facilita el aprendizaje de nuevas palabras que serán acomodadas en el entramado de la red y la predicción de las palabras que se pueden activar en la red ante la previa activación de un nodo.

La memoria semántica, entonces, no solo se ocupa de guardar determinada cantidad de palabras, sino también de su organización y la recuperación de sus significados. De acuerdo con este planteamiento, primordialmente los nodos se conectan entre sí a partir de su significado, es decir, se vinculan dado que comparten ciertos rasgos de significado y conforman categorías semánticas; por ejemplo, la palabra *manzana* y la palabra *pera* refieren a frutas que poseen rasgos en común.

Sin embargo, las palabras también pueden asociarse por su coocurrencia contextual; esto es, por referir a elementos (objetos, personas, lugares o acciones) que aparecen en el mismo escenario. Por ejemplo, la palabra *perro* puede vincularse con la palabra *correa*, o bien con la palabra *ladrar*. Este último tipo de asociación posibilita el vínculo entre palabras de diferentes categorías gramaticales y puede dar paso a relaciones sintácticas que suceden en el habla cotidiana (es común escuchar frases como “El perro no tiene correa”). De esta manera, los hablantes van ordenando las palabras que conforman su vocabulario, de acuerdo a parámetros semánticos y contextuales (véase Arias-Trejo y Minto-García, 2021).

Por supuesto, los niños poseen un vocabulario más limitado que los adultos; en ese sentido, las conexiones también son limitadas porque poseen menos opciones (otros nodos) para establecer un vínculo. En cambio, los adultos muestran una mayor conectividad entre las palabras; además, aunque a lo largo de la edad adulta (es decir, desde que se es adulto joven hasta ser adulto mayor) se suscitan pocos cambios en la organización de las redes de palabras, los adultos mayores poseen una variabilidad más amplia en la asociación de palabras, lo cual se explica por la misma amplitud de su vocabulario (ya que se ha demostrado que el pico más alto en el número de palabras que constituyen el vocabulario de una persona se da

en la vejez); es decir, dado su conocimiento de una gran cantidad de palabras (y sus significados) hay una mayor posibilidad de vincular una palabra con muchas más opciones (para una revisión de los estudios, véase Arias-Trejo *et al*., 2022; Brysbaert *et al*., 2016; Zortea *et al*., 2014). Esto quiere decir que las redes de palabras cambian con la edad y el desarrollo del lenguaje. Las redes de palabras se van ajustando, adaptando y modificando según el conocimiento de la propia lengua de los hablantes, pero también de las experiencias que han tenido a lo largo de su vida.

¿Cómo se estudian las relaciones entre palabras? Existen varios métodos que han permitido, desde diferentes disciplinas y enfoques, estudiar la conformación y organización de las redes de palabras, desde técnicas electrofisiológicas (como la técnica de potenciales relacionados con eventos) y de rastreo visual, hasta tareas verbales como las de nombramiento, decisión léxica y asociación libre de palabras (para una revisión comparativa de los distintos métodos, véase Barrón-Martínez *et al*., 2021). Desde una visión psicolingüística, la tarea de asociación libre de palabras es un método que ha tenido muchas ventajas por sobre otras técnicas de recolección de datos (por ejemplo, es una técnica no invasiva que posibilita el estudio de la producción espontánea de palabras). Esta tarea consiste en presentar de forma oral o escrita una serie de palabras estímulo y solicitar a los participantes que contesten de forma oral o escrita con la primera palabra que venga a su mente. El resultado es un conjunto de datos de palabras asociadas (estímulos y sus respuestas) que pueden ser analizadas cuantitativa o cualitativamente.

Ahora bien, gran parte de los estudios sobre relaciones entre palabras se han centrado en poblaciones angloparlantes. Sin embargo, el interés que aquí nos ocupa está enfocado en los hablantes del español. ¿Qué se sabe de la organización del vocabulario de los hispanohablantes? ¿Hay investigaciones específicamente en mexicanos? Con la participación de mexicanos hispanohablantes, se han realizado algunas investigaciones para conocer cómo se conectan las palabras mediante el estudio de la producción léxica.

A partir de datos recolectados con una tarea de asociación de palabras, se realizó una comparación entre las asociaciones generadas por jóvenes y las de adultos mayores; los resultados indicaron que ambos grupos proporcionaron la misma respuesta más frecuente para 45 de las 117 palabras, es decir, la respuesta más frecuente coincidió en un 38.46 % en ambos grupos (Arias-Trejo *et al*., 2022).

Esto indica un solapamiento en las respuestas de los jóvenes y los adultos mayores, aunque evidentemente las asociaciones más frecuentes cambian con la edad.

© Gabriela Torres Ruiz. De la serie *Mimesis* No. 7. Tríptico, fotografía digital, 2020.

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 5. Tríptico, fotografía digital, 2021.

En este mismo estudio se encontró que, a pesar de que los jóvenes fueron más rápidos para proporcionar una respuesta en comparación con los adultos mayores, en ambos grupos hubo una correlación negativa entre el tiempo de respuesta y la fuerza de asociación de las palabras (que se mide con la proporción de participantes que dieron la respuesta más frecuente); esto quiere decir que una mayor fuerza de asociación de la respuesta más común (a una determinada palabra) está relacionada con un menor tiempo para generar dicha respuesta. Esto sucede porque las palabras estímulo que están fuertemente relacionadas con su respuesta representan un anclaje directo y, por ende, rápido, a diferencia de los estímulos que se vincularon con otro tipo de respuestas. En otras palabras, la conexión entre palabras con asociación fuerte es más rápida que la que se establece entre asociados débiles. Asimismo, tal como se ha observado en angloparlantes, el promedio de diferentes respuestas y la proporción de respuestas idiosincrásicas para cada estímulo fue significativamente mayor en los adultos mayores que en los jóvenes; esto refleja que la especialización de su vocabulario les permite proporcionar respuestas variadas (Arias-Trejo *et al*., 2022).

Otro estudio, también enfocado en adultos mayores (de 60 a 90 años) mexicanos, se centró en analizar el tipo de asociaciones que establecen palabras de uso frecuente y de adquisición temprana. Con base en los datos recabados mediante una tarea de asociación de palabras, Minto-García *et al*. (2020) identificaron que los mexicanos adultos mayores producen más conexiones paradigmáticas (cuando el estímulo y la respuesta pertenecen a la misma categoría gramatical; por ejemplo, *manzana-fruta*) que sintagmáticas (cuando el estímulo y la respuesta son de diferente categoría gramatical; por ejemplo, *manzana-verde*). Un análisis más detallado del tipo de asociaciones mostró que los adultos mayores tuvieron preferencia por asociaciones de colocación temática contextual y semántica (por ejemplo, *cuna-biberón*; *abeja-picar*); es decir, el tipo de conexión más frecuente es aquella que posee un doble vínculo: por un lado, una conexión semántica (porque las palabras *cuna* y *biberón* podrían pertenecer al mismo campo semántico) y, por otro, una conexión contextual (dado que una cuna y un bebé podrían aparecer en el mismo escenario).

¿Cuáles son las implicaciones de este tipo de estudios? ¿Cuál es la relevancia de estudiar las redes de palabras? Por un lado, estudiar estos fenómenos nos permite comprender cómo funciona la memoria semántica, aquella que posibilita el almacenamiento y la recuperación de palabras o conceptos (Ober y Shenaut, 2006; Tulving, 1972) que emplearemos para comunicarnos con otros. Si perdemos la capacidad para almacenar y recuperar

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 1. Tríptico, fotografía digital, 2019.

las palabras de nuestro vocabulario, difícilmente podríamos responder de manera exitosa a nuestras actividades cotidianas y con las personas que nos rodean; la memoria semántica está intrínsecamente relacionada con nuestra habilidad para comunicarnos. El lenguaje, auspiciado por la memoria semántica, es fundamental para nuestra vida. En ese sentido, desentrañar las particularidades de la memoria semántica se convierte en una práctica por demás relevante para la ciencia.

Por otro lado, el estudio sobre las redes de palabras nos permitirá explorar qué sucede cuando se presenta algún tipo de alteración en la memoria semántica. Diversas enfermedades neurodegenerativas han sido asociadas con la pérdida de la información almacenada, o bien con dificultades para recuperar dicha información. Se ha detectado que pacientes diagnosticados con enfermedad de Alzheimer no solo tienen afectaciones en la memoria episódica (aquella que se encarga de almacenar información sobre las experiencias personales situadas en un tiempo y lugar), sino también en la memoria semántica. Se ha demostrado que este tipo de pacientes presentan déficits en la producción de ciertas clases de palabras, así como problemas en la comprensión de algunos significados (ver, por ejemplo, Grossman *et al*., 2003).

Recientemente, Minto-García y colaboradores (2022) identificaron que pacientes mexicanos con etapas moderadas de enfermedad de Alzheimer conservan y pierden cierto de tipo de conexiones entre palabras. Las asociaciones como *abeja-miel*, que son tanto semánticas como contextuales, son preservadas precisamente como consecuencia de la fuerza adicional de ese doble vínculo.

Dicho de otra forma, si el paciente recibe el estímulo *cuna*, puede optar por una ruta semántica para contestar *biberón*, o bien por una ruta contextual para dar la misma respuesta; si presenta dificultades para recuperar un tipo de información (por ejemplo, para recordar un evento en particular –en el que un bebé estaba en su cuna mientras tomaba su biberón– que le permita ubicar ambos elementos contextualmente), puede seguir otra ruta de conexión entre las palabras (por ejemplo, identificar que la cuna y el biberón son objetos que pueden categorizarse como aquellos usados por bebés) y, así, establecer dicha conexión.

Del mismo modo, asociaciones como *manzana-fruta* (llamadas superordinadas, donde la respuesta es de una categoría superior que contiene al estímulo) o *manzana-melón* (llamadas coordinadas, donde ambas palabras pertenecen a la misma categoría de frutas) también son conservadas en pacientes con Alzheimer. Las investigadoras que dirigieron el estudio antes citado asumen que el tipo de estímulos usados (palabras de adquisición temprana y de uso frecuente) en la tarea de asociación

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 4. Tríptico, fotografía digital, 2017.

de palabras es una razón de peso para que los participantes generaran este tipo de conexiones (Minto-García *et al*., 2022). En palabras distintas, las conexiones establecidas entre palabras que adquirimos desde pequeños (a los 36 meses los estímulos que usaron ya forman parte de nuestro vocabulario) y que usamos frecuentemente en la vida cotidiana con sus respectivos asociados no se pierden (o por lo menos aún persisten en etapas moderadas). Esto demuestra que las redes de palabras agrupadas en categorías semánticas, como aquellos conjuntos que aprendimos a conformar con elementos que comparten rasgos semánticos en el nivel básico de la escuela (recordemos cuando la profesora de primaria nos pedía construir el campo semántico de los animales o de las frutas), son preservadas en este tipo de pacientes. Podríamos inferir, entonces, que las conexiones que se establecen a temprana edad, con palabras que usamos frecuentemente a lo largo de nuestra vida y que conocimos desde la infancia, son de tal fortaleza que no se pierden aun en presencia de un declive cognitivo.

Sin embargo, Minto-García y colaboradores (2022) también observaron una significativa desaparición de conexiones contextuales, aquellas que implican la recuperación de información contextual que va más allá del contexto situado (es decir, del aquí y el ahora): se trata de asociaciones complejas que implican recuperar información relacionada con las experiencias personales y los eventos vividos. Por ejemplo, asociaciones como *elefante-suerte*, *araña-miedo*, *payaso-alegría* o *ratón-asco* se ven deterioradas. Además de la presencia de respuestas que no pudieron clasificarse (porque eran ininteligibles) y la ausencia de respuestas ante ciertos estímulos, esta pérdida de conexiones evidencia cambios en la memoria semántica de este tipo de pacientes. Estos hallazgos tienen implicaciones relevantes para la evaluación del lenguaje y el diagnóstico temprano de este padecimiento.

Una de las finalidades del quehacer científico de quienes estudian la organización de las redes de palabras en la memoria semántica es, entonces, aportar conocimiento para entender cómo se almacena y recupera la información que el hablante necesita para comprender y hacer uso de su lenguaje y, así, comunicarse con otros. La investigación científica sobre las redes de palabras es un campo de estudio que, desde la lingüística aplicada, la psicolingüística, la neuropsicología y la neurolingüística, por mencionar algunas disciplinas, ha sido y seguirá siendo muy fecundo. Todavía hay muchas preguntas por responder: ¿la lengua es una variable relevante para la organización de las redes de palabras?, ¿hay cambios en el tipo de conexiones entre palabras según el desarrollo de los hablantes?, ¿la organización de las redes de palabras tiene un impacto en otras habilidades cognitivas (por ejemplo, en la

lecto-escritura) o viceversa?, ¿cómo se organiza el vocabulario de las personas bilingües? Dado el creciente interés en este objeto de estudio, en los próximos años seguramente los científicos de las ciencias del lenguaje intentarán dar respuesta a estas cuestiones.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo fue realizado gracias al apoyo de CONAHCYT, a través de la Beca de Estancia Posdoctoral por México para la Formación y Consolidación de las y los Investigadores por México, asignada a la autora para realizar una estancia posdoctoral en el Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades de la BUAP.

REFERENCIAS

Anderson JR (1983). A Spreading Activation Theory of Memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 22:261-295.

Arias-Trejo N y Minto-García A (2021). *Relaciones entre palabras en la niñez y el envejecimiento*. México: UNAM.

Arias-Trejo N, Bel-Enguix G, Barrón-Martínez JB, Minto-García A, Arias-Carrión O and González-González MM (2022). Word Association Norms in Mexican Older Adults. *The Mental Lexicon* 17(2):155-177.

Barrón-Martínez JB, Mijangos V, Arias-Trejo N y Bel-Enguix G (2021). Métodos para explorar las redes léxicas desde la infancia hasta la etapa adulta. En Arias-Trejo N y Minto-García A (Eds.), *Relaciones entre palabras en la niñez y el -envejecimiento* (pp. 81-109). México: UNAM.

Brysbaert M, Stevens M, Mandera P and Keuleers E (2016). How many words do we know? Practical estimates of vocabulary size dependent on word definition, the degree of language input and the participant's age. *Frontiers in Psychology* 7:1116.

Collins AM and Loftus EF (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review* 82(6):407-428.

Grossman M, Koenig P, Glosser G, DeVita C, Moore P, Rhee J, Detre J, Alsop D and Gee J (2003). Neural basis for semantic memory difficulty in Alzheimer's disease: An fMRI study. *Brain* 126(2): 292-311.

Minto-García A, Arias-Trejo N and Vargas-García EM (2020). Lexical relations in Spanish-speaking older adults. *Journal of Psycholinguistic Research* 49:663-716.

Minto-García A, Luna-Umanzor DI, Arias-Trejo N, González-González MM and Zúñiga-Santamaría T (2022). Lexical Relations in Spanish-Speaking Older Adults with Alzheimer's Disease: An Approach to Semantic Memory. *Journal of Neurolinguistics* 62:101059.

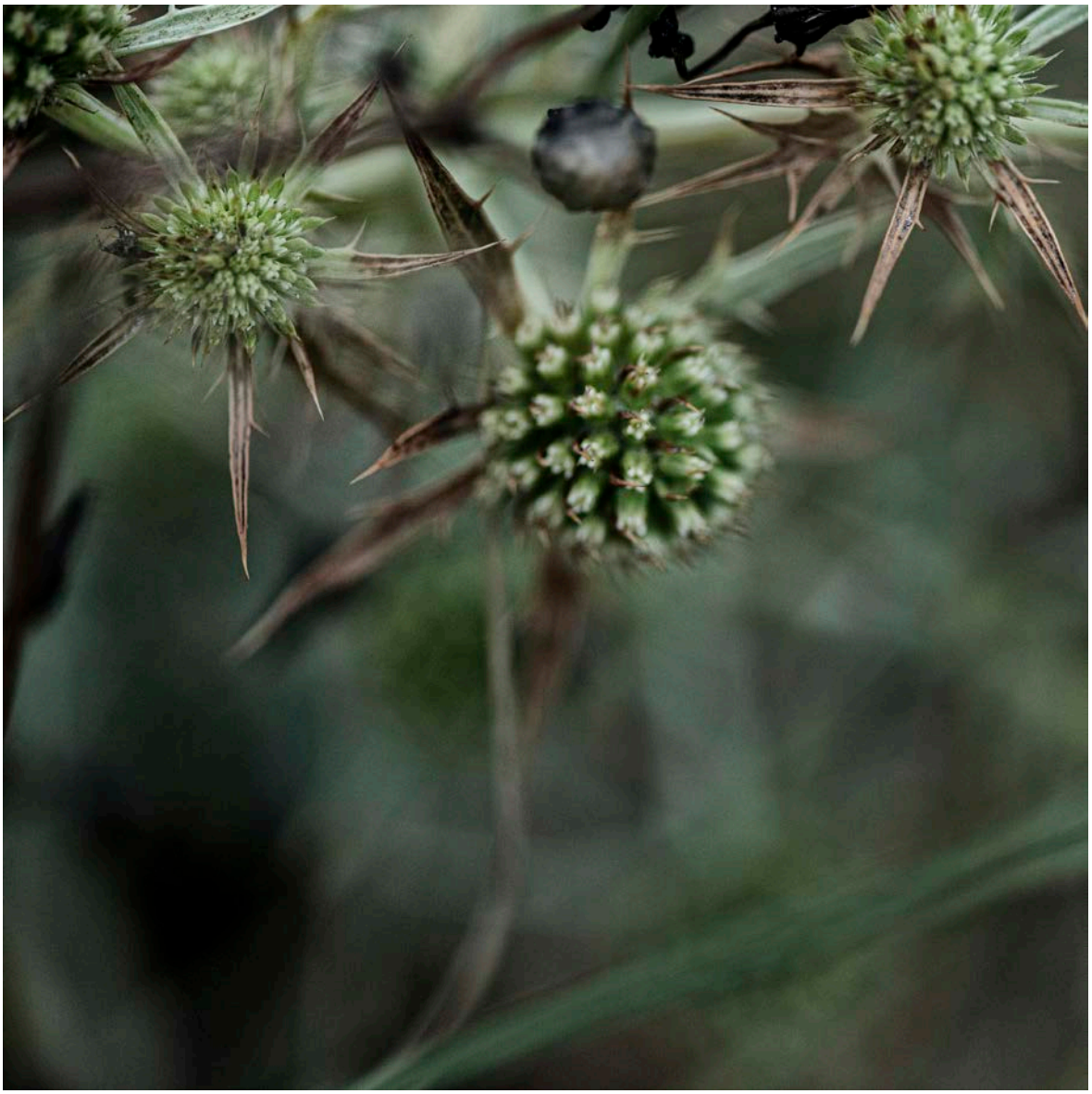
Ober BA and Shenaut GK (2006). Semantic memory. En Traxler M y Gernsbacher MA (Eds.). *Handbook of Psycholinguistics* (pp.403-453). Elsevier.

Tulving E (1972). Episodic and semantic memory. En Tulving E y Donaldson W (Eds.), *Organization of memory* (pp. 381-402). Academic Press.

Zortea M, Menegola B, Villavicencio A and de Salles JF (2014). Graph analysis of semantic word association among children, adults, and the elderly. *Psicologia: Reflexão e Crítica* 27(1):90-99.

Aline Minto-García
Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades
"Alfonso Vélez Pliego"
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
amintog@hotmail.com

© Gabriela Torres Ruiz. De la serie *Mimesis* No. 3. Tríptico, fotografía digital, 2015.



© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2020.

www.elementos.buap.mx

Consumo de fructosa y salud

Fernando **Martínez Esquivias**
Juan Manuel **Guzmán Flores**

La fructosa es un azúcar simple que se encuentra de forma natural en las frutas, miel y algunos vegetales. La producción de este azúcar es de bajo costo y es más dulce que la glucosa y la sacarosa, por lo que se utiliza comúnmente en la industria alimentaria en la elaboración de alimentos procesados y bebidas.

La popularidad del uso de este azúcar para la elaboración de alimentos ha provocado un aumento del consumo de fructosa añadida en la dieta de muchas personas (Lubawy y Formanowicz, 2023).

Es importante destacar que no todos los alimentos que contienen fructosa son perjudiciales para la salud. Las frutas, por ejemplo, contienen esta azúcar en bajas concentraciones pero también proporcionan fibra, contienen vitaminas y antioxidantes que son beneficiosos para el organismo y suprimen los efectos indeseables del metabolismo de la fructosa (Dornas *et al.*, 2015).

El problema radica en el consumo excesivo de azúcares añadidos con alto contenido de fructosa en productos procesados y bebidas azucaradas, ya que su consumo puede tener un impacto negativo en la salud (Figura 1).

En este artículo, exploraremos cómo se metaboliza la fructosa en el cuerpo, cuáles son los efectos de su consumo excesivo sobre la salud, y algunas recomendaciones para reducir el consumo de este azúcar.

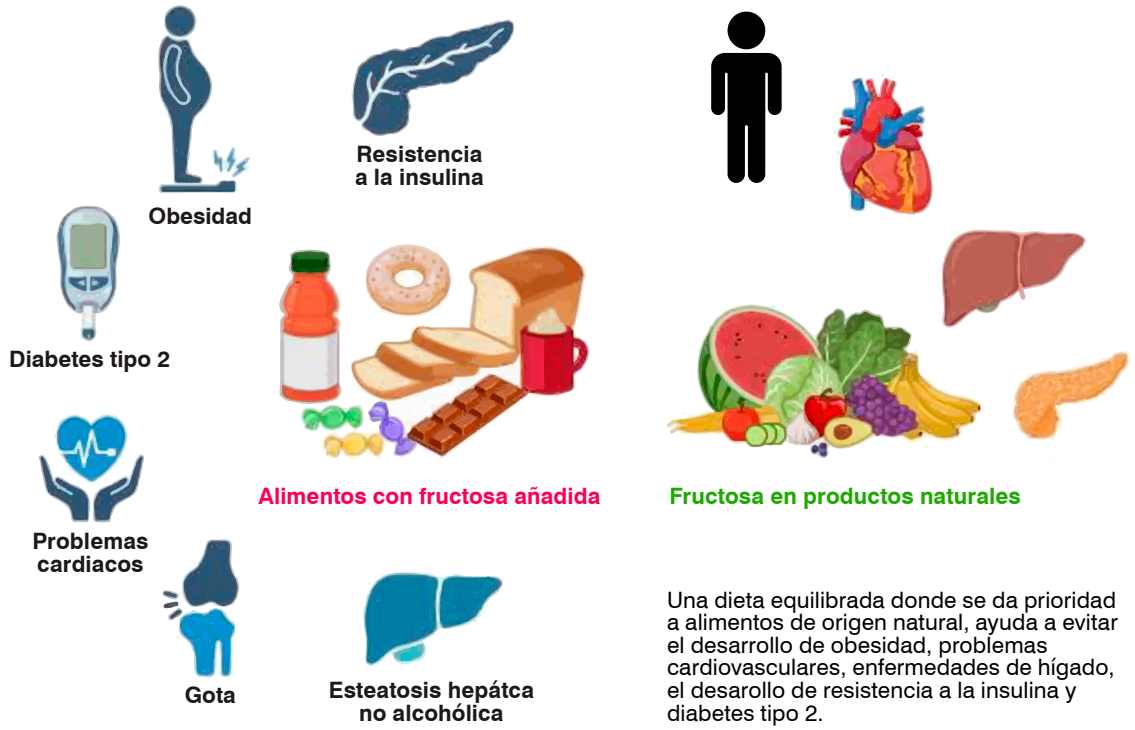


Figura 1. Alimentos con altas concentraciones de fructosa frente a fructosa presente en productos de origen natural.

METABOLISMO DE LA FRUCTOSA

Cuando consumimos alimentos que contienen fructosa, este azúcar se absorbe en el intestino delgado y llega al hígado a través del torrente sanguíneo.

En el hígado, la fructosa es fosforilada por una enzima llamada fructocinasa, que la convierte en fructosa-1-fosfato. La fructosa-1-fosfato se descompone en dihidroxiacetona fosfato (DHAP) y gliceraldehído. El gliceraldehído se convierte en gliceraldehído-3-fosfato que entra en la vía de la glicólisis, una vía metabólica clave para la generación de energía. La DHAP generada en la etapa 3 puede convertirse en glucosa a través de un proceso conocido como gluconeogénesis. Esto es importante para mantener los niveles de glucosa en sangre, especialmente cuando hay una demanda de glucosa por parte del cuerpo (Dornas *et al*., 2015).

Sin embargo, cuando se consume una gran cantidad de fructosa, una parte de ella será convertida en grasa en el hígado, a través de la lipogénesis, por lo que se elevan las concentraciones de ácidos grasos libres, colesterol y triglicéridos, lo que provoca lipotoxicidad y estrés oxidativo en el organismo. Además, dietas altas en fructosa conducen a una respuesta del sistema inmunitario y generan un desbalance en el metabolismo. Metabolitos como la fructosa-1 fosfato generan toxicidad en las células hepáticas, afectan mecanismos de trasporte y plegamiento de proteínas; producen estrés en el retículo endoplasmático y activan sistemas de inflamación.

Del mismo modo, metabolitos secundarios como el ácido úrico y el lactato activan sistemas de inflamación, contribuyen a la generación de especies reactivas de oxígeno y activan el mecanismo de muerte en las células hepáticas.

Estos efectos contribuyen al desarrollo de resistencia a la insulina, obesidad, síndrome metabólico y diabetes tipo 2 (Martínez-Esquivias *et al*., 2023).

EFECTOS DEL CONSUMO EXCESIVO DE FRUCTOSA EN LA SALUD

El consumo excesivo de fructosa ha sido objeto de estudio y debate en relación con la obesidad,

y existen algunas evidencias que sugieren que un consumo excesivo de fructosa podría contribuir al aumento del riesgo de desarrollar obesidad.

Sin embargo, es importante comprender que la relación entre la fructosa y la obesidad es compleja y multifactorial, y no se puede señalar exclusivamente a la fructosa como la causa única de esta enfermedad. Por otro lado, el consumo excesivo de fructosa se ha asociado con un mayor riesgo de desarrollar enfermedades del hígado, en particular la esteatosis hepática no alcohólica (EHNA). La EHNA es una afección en la que hay acumulación de grasa en el hígado en personas que no consumen cantidades significativas de alcohol. Se cree que el metabolismo de la fructosa en el hígado puede desempeñar un papel en el desarrollo de esta enfermedad (Mortera *et al*., 2019).

La resistencia a la insulina es un estado en el que las células del cuerpo no responden adecuadamente a la insulina, una hormona que regula los niveles de azúcar en sangre.

El consumo excesivo de fructosa puede contribuir a la resistencia a la insulina, lo que aumenta el riesgo de desarrollar diabetes tipo 2 (Baena *et al*., 2016).

Asimismo, el consumo excesivo de fructosa también se ha asociado con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares.

Puede elevar la presión arterial, aumentar los niveles de triglicéridos en sangre y disminuir el colesterol HDL (colesterol "bueno"), lo que aumenta el riesgo de enfermedades cardíacas *(Softic et al*., 2020).

La fructosa puede aumentar los niveles de ácido úrico en sangre *(*Russo *et al.*, 2020), lo que puede llevar a la hiperuricemia y aumentar el riesgo de desarrollar gota, una enfermedad caracterizada por dolor e inflamación en las articulaciones. Además, el consumo excesivo de fructosa se ha relacionado con un mayor riesgo de desarrollar síndrome metabólico. Este síndrome es una combinación de factores de riesgo que aumentan las posibilidades de padecer enfermedades cardíacas, diabetes y otros problemas de salud (Lubawy y Formanowicz, 2023).

CONSEJOS PARA REDUCIR EL CONSUMO DE FRUCTOSA

Dado que el exceso de fructosa en la dieta puede tener efectos negativos en la salud, es fundamental tomar medidas para disminuir su ingesta. Al comprar alimentos procesados, recomendamos revisar las etiquetas para identificar si contienen fructosa añadida y optar siempre por productos con menos azúcares agregados. En lugar de obtener fructosa de alimentos procesados, es preferible elegir consumir frutas frescas. Las frutas nos brindan fibra, antioxidantes y otros nutrientes beneficiosos que ayudan a contrarrestar los efectos negativos de la fructosa. Además, debemos evitar o reducir el consumo de refrescos y bebidas azucaradas, ya que suelen contener altas cantidades de fructosa añadida. Por otro lado, es recomendable preparar las comidas en casa, esto nos permite tener un mayor control sobre las cantidades de azúcares que agregamos a los platos. Por último, no es necesario eliminar por completo la fructosa de nuestra dieta, pero sí es importante consumirla con moderación y en equilibrio.

CONCLUSIÓN

La fructosa es un tipo de azúcar natural presente en muchas frutas y verduras. Si se consume en cantidades moderadas, generalmente no representa un riesgo para la salud. Sin embargo, es importante tener cuidado con el consumo excesivo de fructosa añadida, especialmente a través de alimentos procesados y bebidas azucaradas. Este exceso puede tener efectos negativos en nuestro cuerpo, como el aumento de peso, problemas hepáticos, resistencia a la insulina, enfermedades del corazón y diabetes. Por lo tanto, es importante ser consciente de la cantidad de fructosa que se consume y tomar medidas para limitar su ingesta, priorizando una dieta equilibrada y saludable. La moderación y la elección de alimentos frescos y naturales son clave para mantener un estilo de vida saludable y prevenir los efectos negativos de un consumo excesivo de fructosa.

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2020.

REFERENCIAS

Baena M, Sangüesa G, Dávalos A, Latasa MJ, Sala-Vila A, Sánchez RM, Roglans N, Laguna JC and Alegret M (2016). Fructose, but not glucose, impairs insulin signaling in the three major insulin-sensitive tissues. *Scientific Reports* 6(1), Article 1. https://doi.org/10.1038/srep26149.

Dornas WC, de Lima WG, Pedrosa ML and Silva ME (2015). Health Implications of High-Fructose Intake and Current Research. *Advances in Nutrition* 6(6):729-737. https://doi.org/10.3945/an.114.008144.

Lubawy M and Formanowicz D (2023). High-Fructose Diet–Induced Hyperuricemia Accompanying Metabolic Syndrome–Mechanisms and Dietary Therapy Proposals. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 20(4):3596. https://doi.org/10.3390/ijerph20043596.

Martínez-Esquivias F, Perez-Larios A and Guzmán-Flores JM (2023). Effect of Administration of Selenium Nanoparticles Synthesized Using Onion Extract on Biochemical and Inflammatory Parameters in Mice Fed with High-Fructose Diet: In Vivo and In Silico Analysis. *Biological Trace Element Research*. https://doi.org/10.1007/s12011-023-03685-1.

Mortera RR, Bains Y and Gugliucci A (2019). Fructose at the crossroads of the metabolic syndrome and obesity epidemics. *Frontiers in Bioscience (Landmark Edition)* 24(2):186-211. https://doi.org/10.2741/4713.

Russo E, Leoncini G, Esposito P, Garibotto G, Pontremoli R and Viazzi F (2020). Fructose and Uric Acid: Major Mediators of Cardiovascular Disease Risk Starting at Pediatric Age. *International Journal of Molecular Sciences* 21(12):4479. https://doi.org/10.3390/ijms21124479.

Softic S, Stanhope KL, Boucher J, Divanovic S, Lanaspa MA, Johnson RJ and Kahn CR (2020). Fructose and Hepatic Insulin Resistance. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences* 57(5):308-322. https://doi.org/10.1080/10408363.2019.1711360.

Fernando Martínez Esquivias
Juan Manuel Guzmán Flores
Centro Universitario de Los Altos
Universidad de Guadalajara
fernando.mesquivias@academicos.udg.mx

www.elementos.buap.mx

El riesgo cardiovascular en las mujeres

J. Ildefonzo **Arocha-Rodulfo**

Es un hecho indiscutible, fisiológicamente hablando, que las mujeres están protegidas de las enfermedades cardiovasculares (ECV) debido a los estrógenos, hormonas sexuales con numerosos efectos beneficiosos; pero a medida que se envejece y, específicamente, después de la menopausia, pierden tal escudo protector y se incrementa la prevalencia de las ECV que pueden, incluso, superar a la incidencia en los hombres. Más aún: existen ciertos condicionantes, antes desconocidos, de aparición de ECV en la edad fértil que pueden modificar el estado de salud cardiovascular, por ejemplo, la menarquia o la menopausia precoz, que favorecen el desarrollo de eventos clínicos y de ECV en la tercera edad. Por otro lado, existen situaciones adversas que ocurren durante el embarazo que imponen una pesada carga sobre el riesgo cardiovascular de quienes las padecen. De hecho, las estadísticas han mostrado que el 35 % de las mujeres que murieron en 2019 lo hicieron por un problema de corazón. Este tipo de dolencias, que sufren más de 275 millones de mujeres en todo el planeta, se cobran más vidas que todas las formas de cáncer juntas o cualquier otra enfermedad (Vogel *et al*., 2021).

Si bien la estructura y funcionamiento del sistema cardiovascular es idéntico en hombres y mujeres, el comportamiento es distinto si se toma en cuenta que uno responde a la testosterona y el otro a los estrógenos.

Estas diferencias han llevado a entender que la enfermedad cardiovascular aterosclerótica (ECVA) presenta contrastes significativos en sus manifestaciones clínicas y en su evolución, las cuales son motivo del presente artículo en el que se han considerado los siguientes apartados: a) diferencias generales; b) condiciones emergentes de riesgo; c) menopausia; d) afecciones de mayor prevalencia en la mujer.

DIFERENCIAS GENERALES

Los hombres tienen una mayor probabilidad de desarrollar ECVA a edad más temprana que las mujeres, pero, luego de la menopausia, cuando disminuye o cesa la producción de estrógenos, la prevalencia de la ECVA tiende a igualarse en ambos géneros. En este apartado apuntaremos a las características de los síntomas, los factores de riesgo y la respuesta al tratamiento.

Características de los síntomas

En las mujeres, los síntomas atípicos son más la regla que la excepción. Ello puede conducir a retraso en el diagnóstico correcto y hasta en la implantación de medidas terapéuticas equivocadas. Por lo general, las mujeres atienden más a los problemas ginecológicos, mientras que los hombres tienen una mayor fijación con la problemática cardiovascular y acuden más tempranamente al especialista. Por otro lado, existen las razones culturales: las mujeres dedican muy poco tiempo a su estado de salud, sobre todo en la época de crianza de los hijos y de los nietos, para luego pasar a cuidar a los mayores o al esposo o compañero enfermo. Están más pendientes de otras personas que de sí mismas.

Factores de riesgo

Ambos sexos comparten factores de riesgo comunes para la ECVA, pero con ciertas peculiaridades diferenciales que significan una mayor carga para el sexo femenino, resumidas a continuación:

a. El tabaquismo en las mujeres que usan anticonceptivos orales tiene un impacto más dañino sobre la salud que sobre las no usuarias de estos fármacos.

b. Durante los últimos años, nuevos datos han reenfocado la atención hacia las diferencias entre sexos en la presión arterial (PA). Si bien la PA es más baja en las mujeres que en los hombres, su incremento con el envejecimiento ocurre más rápido y temprano en ellas que en los hombres. Además, estudios de cohorte han demostrado que, para un mismo grado de elevación de la PA, las mujeres tienen un mayor riesgo de infarto de miocardio e ictus (Connelly *et al*., 2022).

c. La diabetes mellitus tipo 2 de aparición en la tercera edad evoluciona a las complicaciones más rápidamente en la mujer que en el hombre.

Respuesta al tratamiento

La evidencia indica que las mujeres pueden tener respuestas menos favorables a la intervención coronaria percutánea y a la cirugía de revascularización miocárdica (Schulte *et al*., 2023).

Poco se conoce el porqué de tal evolución y se han esgrimido diferencias anatómicas, hormonales y fisiológicas.

De igual manera, las mujeres tienden a presentar peor evolución luego de un infarto agudo de miocardio, especialmente en el curso del primer año del evento; en el estudio VIRGO en el que fueron analizados pacientes entre 18 y 55 años con evento coronario agudo, el grupo femenino mostró una mayor tendencia a los reingresos que los hombres, tanto por todas las causas como por causas específicas (Dreyer *et al*., 2015).

CONDICIONES EMERGENTES DE RIESGO

En las mujeres hay que añadir situaciones que las afectan exclusivamente, como los eventos cardiovasculares adversos durante la gestación y la menopausia; ambas condiciones han sido reconocidas como marcadores de riesgo para futuros eventos en la vida de la mujer (Parikh *et al*., 2021).

En cuanto a los eventos cardiovasculares adversos durante la gestación, vale destacar los siguientes:

• HTA del embarazo, definida como cifras de PA por encima de 140/90 mmHg durante la gestación, incrementa en 67 % el riesgo cardiovascular (RCV), y en 83 % la probabilidad de ictus, mal llamado "accidente" cerebrovascular (ACV).

• La preeclampsia está asociada con un riesgo 2.7 veces mayor de ECVA en la tercera edad.

• La diabetes gestacional está vinculada a un riesgo del 68 % de ECVA y de 10 veces mayor de desarrollar diabetes después del embarazo.

• Parto prematuro, definido como el alumbramiento antes de la semana 37 de gestación, está relacionado con un aumento dos veces mayor de ECVA e ictus en la tercera edad.

• El desprendimiento prematuro de placenta está asociado a un incremento del 82 % en el RCV.

• El parto de feto muerto está asociado con casi dos veces de incremento en el riesgo de ECVA años más tarde.

• En general, las pacientes que hayan sufrido uno de estos eventos adversos tienen más comorbilidades, incluyendo obesidad, HTA, ECVA y migraña, con más de un 30 % de probabilidad de ictus en comparación con el grupo que no sufrió ninguno de estos eventos (Miller *et al*., 2023).

• Condición aparte es la miocardiopatía periparto o posparto, cuadro clínico dominado por la falla cardíaca con elevada mortalidad. Puede aparecer en el momento del parto o días o semanas después.

MENOPAUSIA

Significa el cese permanente de la función ovárica y la transición de la mujer de una etapa reproductiva a una no reproductiva. Este estadio está marcado por cambios hormonales y metabólicos importantes junto con síntomas psicológicos y psicosociales que son relevantes al riesgo cardiovascular. Por demás, es la etapa de mayor duración en la vida de las mujeres y en la que se enfrentan a un mayor riesgo de enfermedad cardiometabólica y a las posibles consecuencias tardías de un evento adverso durante el embarazo.

Hay que considerar a la menopausia como la etapa donde la mujer entra en una mayor productividad y libertad al no tener riesgo de embarazo ni molestias por la menstruación, por tanto, pueden invertir mejor el tiempo y recursos en sí mismas, sus familias o empleo.

En líneas generales, la edad media de la menopausia son los 50 años, lo cual significa que en la mayoría de las mujeres ocupa casi la mitad de su vida y durante ella se acentúan cambios en su estado general que se iniciaron una década antes.

Cabe destacar los cambios desfavorables en el metabolismo de los lípidos y de los hidratos de carbono, la mayor pérdida en la masa ósea y muscular, el incremento en la actividad simpática y la elevación de la presión arterial; la resistencia a la insulina parece ser el denominador común en respuesta a la deficiencia de los estrógenos (El Khoudary *et al*., 2020) (Figura 1). Sin embargo, tales cambios pueden o no ocurrir dependiendo del estado de salud previo y los antecedentes familiares de ECV; igualmente, puede haber cambios sin expresión clínica al momento de descubrirse.

Hay que aclarar que los cambios señalados están identificados como factores de riesgo de ECV y, por consiguiente, la pre, perimenopausia y menopausia son ventanas de oportunidades para la prevención cardiometabólica en las mujeres, lo que implica una mayor atención por los médicos, especialistas o no, y por parte de ellas mismas siguiendo reglas muy sencillas, como las siguientes:

a. Figura ideal. La circunferencia abdominal a la altura del ombligo debe ser menor de 88 cm, y el índice de masa corporal (se calcula dividiendo el peso en kilogramos por el cuadrado de la estatura en metros) debe estar por debajo de 25; por encima de ese valor es compatible con sobrepeso (hasta 29.9) y obesidad (cuando supera el valor de 30).

b. Dieta saludable, rica en vegetales y frutas.

c. Actividad física regular y vigorosa, idealmente todos los días.

d. Cese del tabaquismo y evitar ser fumador pasivo.

e. Presión arterial igual o menor a 120/80 mmHg.

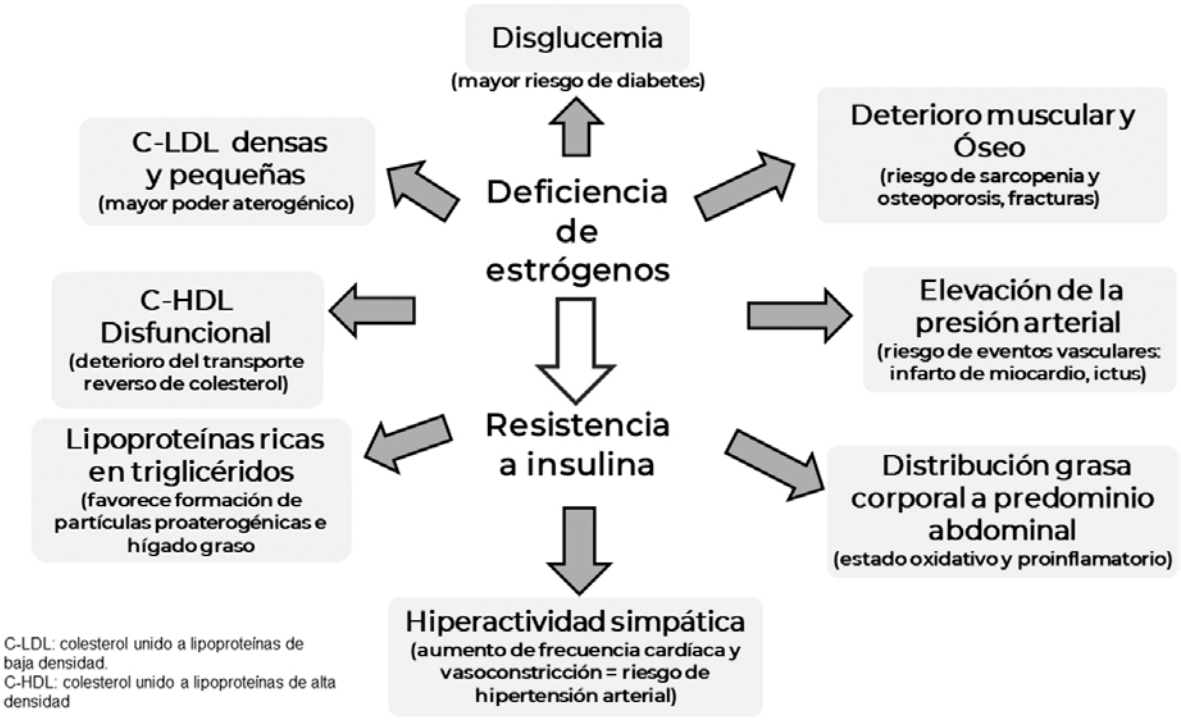


Figura 1. Modificaciones metabólicas con mayor riesgo cardiovascular durante la menopausia. La deficiencia de estrógenos implica incremento en la resistencia a la insulina en un escenario de diversos cambios metabólicos y vasculares.

f. Lípidos sanguíneos que sigan la regla "mientras más bajo, mejor": colesterol total por debajo de 200 mg/dL, colesterol LDL inferior a 100 mg/dL, y triglicéridos alrededor de 100 mg/dL.

g. Glucemia en ayunas inferior a 100 mg/dL.

h. Cumplir con 7 a 8 horas diarias de dormir.

La obesidad en la menopausia sigue siendo tema de un debate en que destacan numerosos factores como los cambios metabólicos debido a que los estrógenos disminuyen en la transición menopáusica como consecuencia del envejecimiento y del estilo de vida sedentario.

Tales alteraciones hormonales contribuyen adicionalmente a la redistribución de la grasa corporal con una tendencia a depositarse principalmente en la zona abdominal. De hecho, se ha observado que hay 49 % de aumento en la grasa abdominal y 22 % de incremento de la grasa subcutánea en las mujeres en etapa posmenopáusica en comparación con las mujeres premenopáusicas, lo que sugiere que el último cambio después de la menopausia se asocia con obesidad ligada a una alta proporción de la masa de grasa corporal y la adiposidad central.

AFECCIONES CARDIOVASCULARES DE MAYOR PREVALENCIA EN LAS MUJERES

Ciertas patologías cardiovasculares son de mayor prevalencia en las mujeres que en los hombres. De estas, las más conocidas son:

a. Síndrome del corazón roto o síndrome de Takotsubo. Fue conocido en sus inicios como miocardiopatía de estrés y hoy se ha identificado con una presentación clínica que simula a un síndrome coronario agudo (Alim *et al*., 2023). La forma típica se muestra como una anormalidad de contracción circunferencial del ventrículo izquierdo (VI) o de ambos ventrículos que aparentemente sigue la distribución anatómica del sistema simpático en el corazón (ver Mares *et al*., en *Elementos* 130, pp. 51-56). Cerca del 90 % de los pacientes son mujeres con edad promedio entre 67 y 70 años, y cerca del 80 % son mayores de 50 años. Una mujer mayor de 55 años tiene un riesgo cinco veces mayor de sufrir

esta afección que otra por debajo de esa edad, y 10 veces más probabilidades que un hombre. La patogénesis no está aclarada y se han propuestos mecanismos fisiopatológicos como la isquemia miocárdica (espasmo coronario, disfunción microvascular), la obstrucción del tracto de salida del VI, toxicidad miocárdica por catecolaminas y disfunción del sistema nervioso autónomo. Aunque el síndrome es usualmente reversible, durante la fase aguda pueden ocurrir complicaciones letales.

b. Infarto de miocardio sin enfermedad obstructiva coronaria (MINOCA, por sus siglas del inglés *Myocardial Infarction with Non-obstructive Coronary Arteries*). Es un evento isquémico agudo, en un contexto clínico que técnicamente se cataloga como un infarto agudo de miocardio, pero con ausencia de estenosis (estrechamiento) coronaria angiográfica del 50 % o mayor. La predominancia femenina en las series de pacientes con angina microvascular (alrededor del 70 % son mujeres posmenopáusicas) sugiere que la deficiencia de estrógenos podría tener un papel causal (Reynolds y Smilowitz, 2023).

c. Cardiotoxicidad por drogas antineoplásicas. Los avances extraordinarios en oncología médica, especialmente en el estudio del cáncer de mama, han aumentado el número de pacientes que sobrevive por mayor tiempo y en mejores condiciones. Se estima que cerca del 30 % de las supervivientes de cáncer puede sufrir de cardiotoxicidad relacionada con la quimioterapia; algunos de estos eventos pueden ser de aparición tan tardía como décadas después de haber terminado el tratamiento (Herrmann *et al*., 2021).

Más aún, los eventos cardiovasculares representan la segunda causa de muerte y morbilidad en los supervivientes de cáncer. La cardiotoxicidad temprana o tardía varía desde la disfunción del VI hasta la insuficiencia cardíaca manifiesta, HTA, arritmias, isquemia miocárdica, valvulopatía, enfermedad tromboembólica, ictus, hipertensión pulmonar y pericarditis.

La disfunción sistólica del VI es el efecto secundario más conocido y monitoreado. Toda paciente sometida a quimioterapia por cáncer de mama debe ser vigilada apropiadamente con controles de ecocardiografía y del péptido natriurético auricular (PNA).

d. Síndrome de ovario poliquístico. Es una afección que provoca desequilibrio hormonal y ovulación irregular. Afecta hasta al 10 % de las mujeres en edad reproductiva y está asociado con un mayor riesgo de ECV, HTA y diabetes tipo 2.

e. Trastornos autoinmunes. Las mujeres tienen el doble de probabilidades que los hombres de desarrollar trastornos autoinmunes como artritis reumatoide o lupus. Estas enfermedades están asociadas con una formación más rápida de placa en las arterias, mayor riesgo de ECV y peores secuelas después de un episodio cardíaco o ictus.

f. La depresión y el trastorno de estrés postraumático son más comunes en las mujeres y se asocian con un mayor riesgo de desarrollar ECV.

g. Diferencias raciales. En las mujeres afrodescendientes los factores de riesgo cardiovascular como la HTA, dislipidemia y obesidad aparecen más tempranamente y con un mayor impacto sobre la salud por su severidad.

REFLEXIONES

Lo que cada vez está más claro es que el sexo es una variable de peso en el desarrollo, progresión y evolución de las ECV al que, desafortunadamente, todavía no se le ha concedido la merecida relevancia. Este punto podría explicar, al menos en parte, el fracaso a la hora de trasladar los resultados de los ensayos clínicos (en los que usualmente la proporción de mujeres participantes alcanza cifras de dos dígitos bajos) a la práctica clínica diaria en diversas enfermedades no transmisibles.

La trascendencia de las ECV a lo largo de la vida de las mujeres se puede resumir así:

1. Las enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares son la causa de una de cada tres muertes de mujeres al año, lo que significa el deceso de una mujer cada 80 segundos, aproximadamente.

2. El 90 % de las mujeres tiene uno o más factores de riesgo de ECV o ataque cerebral.

3. Menos mujeres que hombres sobreviven a su primer ataque cardíaco.

© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2019.

4. Solo el 34 % de las mujeres latinas conoce que las enfermedades cardiovasculares son su mayor riesgo de salud. En promedio, las mujeres latinas tienen probabilidad de desarrollar ECV 10 años antes que las no latinas.

5. El 80 % de los eventos cardiacos y cerebrales puede prevenirse mediante la educación y cambios en el estilo de vida, fundamentalmente dieta saludable, actividad física rutinaria y vigorosa, cesación del tabaquismo y pérdida de peso si es necesario.

Más allá de estos planteamientos, el objetivo del presente artículo es llamar la atención acerca de la vulnerabilidad cardiovascular de las mujeres, por lo que médicos y pacientes deben poner mayor cuidado al control de los factores de riesgo cardiovascular si estuvieran presentes, y una mayor observancia a un estilo de vida saludable en virtud de que la mujer, hoy día, está sometida a un mayor nivel de estrés que el hombre (El Khoudary *et al.,* 2020; Vogel *et al.,* 2021) por sus muchas responsabilidades provenientes de la esfera familiar, laboral, social y emocional.

REFERENCIAS

Alim S, Shah H, Zahera SM *et al* (2023). An update on Takotsubo syndrome. *J Cardiovasc Med* (Hagerstown) 24(10):691-699.

Connelly PJ, Currie G and Delles C (2022). Sex differences in the pre valence, outcomes and management of hypertension. *Curr Hypertens Rep* 24(6):185-192.

Dreyer RP, Wang Y, Strait KM *et al* (2015). Gender differences in the trajectory of recovery in health status among young patients with acute myocardial infarction: results from the variation in recovery: role of gender on outcomes of young AMI patients (VIRGO) study. *Circulation* 131(22):1971-80.

El Khoudary SR, Aggarwal B, Beckie TM *et al* (2020). Menopause Transition and Cardiovascular Disease Risk: Implications for Timing of Early Prevention: A Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation*142(25):e506-e532.

Herrmann J, Lenihan D, Armenian S *et al* (2021). Defining cardiovascular toxicities of cancer therapies: an International Cardio-Oncology Society (IC-OS) consensus statement. *Eur Heart J* 14:ehab674.

Miller EC, Kauko A, Tom SE *et al* (2023). Risk of Midlife Stroke After Adverse Pregnancy Outcomes: The FinnGen Study. *Stroke* 54(7):1798-1805.

Parikh NI, Gonzalez JM, Anderson CAM *et al* (2021). Adverse Pregnancy Outcomes and Cardiovascular Disease Risk: Unique Opportunities for Cardiovascular Disease Prevention in Women: A Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation* 143(18):e902-e916.

Reynolds HR and Smilowitz NR (2023). Myocardial Infarction with Nonobstructive Coronary Arteries. *Annu Rev Med* 74:171-188.

Schulte KJ and Mayr Ovitz HN (2023). Myocardial Infarction Signs and Symptoms: Females vs. Males. *Cureus* 15(4):e37522.

Vogel B, Acevedo M, Appelman Y *et al* (2021). The Lancet women and cardiovascular disease Commission: reducing the global burden by 2030. *Lancet* 397(10292):2385-2438.

J. Ildefonzo Arocha-Rodulfo
Sociedad Venezolana de Cardiología
jiarocha@gmail.com

www.elementos.buap.mx

The Path of Least Resistance (2017-2021) (El camino de la menor resistencia)

Gabriela **Torres Ruiz**

El punto de partida de este proyecto fue la cuestión de hasta qué punto el arte puede contribuir a la percepción de la naturaleza en su complejidad para crear sensibilidad y empatía hacia otras formas de vida y una conciencia de equilibrio armonioso entre la existencia humana y el mundo natural.

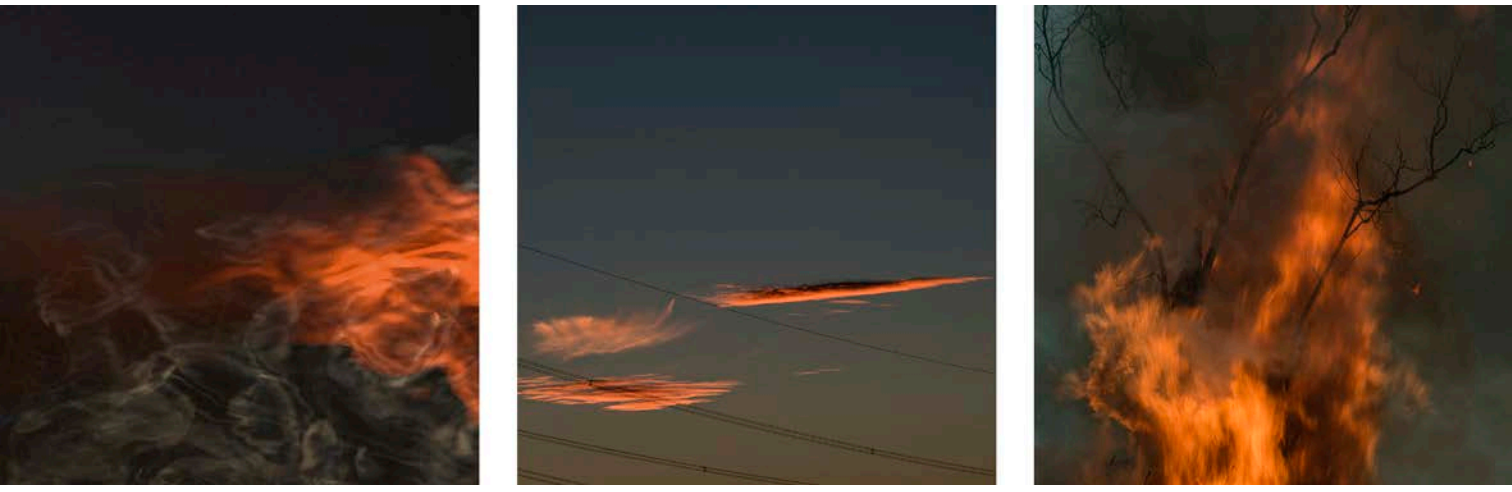
© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2018/2013/2019.

El proyecto aúna resultados de los campos de la ciencia y el arte e intenta trazar y visualizar las formas en que se desarrollan los sistemas naturales. El proyecto se inspira en la obra del profesor Adrian Bejan, quien es autor de The Constructal Law. El enunciado básico de esta teoría afirma: "Para que un sistema de tamaño finito persista en el tiempo (viva), debe evolucionar de tal manera que facilite el acceso a las corrientes impuestas que fluyen a través de él".

Es importante que el sistema también tenga libertad para desarrollarse. Esto suena aparentemente trivial, pero detrás se esconde un ingenioso principio según el cual los patrones de flujo determinan la estructura de todo el universo. Este principio se aprecia claramente en los ríos, las redes neuronales, los rayos, el diseño de los pulmones, los patrones de crecimiento de las plantas e incluso en la dinámica social. Toda arquitectura de flujo en la Tierra sigue la tendencia natural de querer fluir más fácilmente. La evolución de su movimiento persigue siempre el objetivo de alcanzar el equilibrio y minimizar la resistencia.

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2020.

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2019.



© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 6. Tríptico, fotografía digital, 2018.

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2019.

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2016.

Explorando imágenes individuales extraídas de una fuente aparentemente inagotable de 'diseños en la naturaleza", se crean arreglos experimentales mediante la interpretación, la abstracción, la alienación y la composición, que aclaran de alguna manera, los fenómenos naturales y sus complejas interrelaciones.

Estos fenómenos pueden encontrarse tanto a nivel micro como macro en una amplia gama de disciplinas científicas, como la biología, la geología, la física y la medicina.

La traducción de los fenómenos naturales por medios artísticos permite, ampliando o centrándose en aspectos individuales, despertar el interés del espectador por la complejidad de los sistemas naturales.

Un enfoque asociativo crea la posibilidad de descubrir los orígenes de la arquitectura de las estructuras naturales y las analogías entre ellas, lo que nos lleva a la conclusión: hay una dinámica común detrás de la evolución, o más bien del diseño de lo existente.

Flúor en el agua:
riesgos y beneficios para la salud

Marine **Ortiz-Magdaleno**
Amaury **Pozos-Guillén**

El flúor, un mineral presente en mínimas cantidades en el organismo humano, forma parte del selecto grupo de los 14 oligoelementos esenciales. Aunque el flúor posee efectos benéficos para la salud en dosis adecuadas, su exceso puede resultar tóxico y potencialmente perjudicial. A nivel global, una considerable proporción de la población mundial consume agua potable directamente del grifo, que proviene de mantos acuíferos con concentraciones elevadas de flúor. La falta de regulación rigurosa en los niveles permitidos de flúor en áreas endémicas expone a las poblaciones a diversos desafíos en términos de salud general.

El propósito fundamental de esta revisión es proporcionar al lector una visión integral de los beneficios y riesgos asociados con el consumo de flúor. Asimismo, se describen las últimas recomendaciones y regulaciones establecidas para la administración de flúor en el suministro de agua potable.

USOS Y RIESGOS DEL FLÚOR EN EL AGUA

Los mantos acuíferos, caracterizados por su riqueza mineral, alojan una diversidad de elementos entre los cuales destaca el flúor. Este mineral se presenta en forma de fluoruro y su presencia tiene un papel fundamental en la

calidad del agua subterránea destinada al consumo humano. Sus altas concentraciones en el agua de consumo representan un riesgo potencial y reconocido para la salud pública a nivel global (Whelton *et al*., 2019).

El suministro de flúor para el consumo humano encuentra sus principales fuentes en el agua potable y, en menor proporción, en elementos como la sal de mesa fluorada, alimentos, bebidas embotelladas y pastas dentales con contenido de flúor. Este mineral es reconocido por su efecto en la prevención de la caries dental; no obstante, el aumento en la incidencia de fluorosis dental en niños y adolescentes ha propiciado la implementación de nuevas estrategias preventivas para potenciar la efectividad del flúor.

El proceso de fluoración comunitaria implica la adición de fluoruro al agua potable, ajustando su concentración según la procedencia geográfica del recurso hídrico. Sin embargo, en la actualidad existe un marcado debate internacional acerca de la necesidad de continuar con la fluoración del agua de consumo.

En este sentido, varios países han ajustado las dosis de flúor, mientras que otros han cesado por completo esta práctica. (Whelton *et al*., 2019).

El flúor presente en el agua potable ejerce su acción de manera sistémica uniéndose a la saliva para proteger los dientes contra los ácidos resultantes del metabolismo bacteriano de carbohidratos fermentables como la glucosa, fructosa y sacarosa. Parte del flúor es absorbido en el estómago y el intestino delgado, ingresa al torrente sanguíneo y penetra rápidamente en los tejidos mineralizados en formación, como los dientes y huesos (Russell, 1951).

ELEMENTO ESENCIAL

La palabra flúor deriva del término latino "fluere", que significa fluir o flujo. El flúor, un elemento químico con el símbolo F y número atómico 9, pertenece a la familia de los halógenos (grupo 17) en la tabla periódica. Con el número y peso atómico más bajos, el flúor se presenta en forma de moléculas diatómicas F_2, un gas de color amarillo pálido. Fue el profesor de química inorgánica Henri Moissan quien descubrió y aisló el flúor en su forma pura en Francia en 1886, y fue galardonado con el Premio Nobel de Química en 1906. Cabe destacar que el flúor puro causa severas quemaduras al entrar en contacto con la piel y los ojos. Se trata de un elemento altamente reactivo y tóxico, y es el gas más electronegativo y capaz de reaccionar explosivamente con el hidrógeno (McKay, 1952).

En la naturaleza se encuentra en forma de fluorita o fluoruro de calcio, lo que significa que los seres humanos están expuestos a diferentes compuestos de flúor tanto de manera natural como artificial. La principal fuente de ingestión de fluoruro para los seres humanos es el agua del grifo, que proviene de acuíferos y manantiales subterráneos con elevados niveles minerales. En zonas con depósitos minerales, las concentraciones de fluoruro pueden alcanzar hasta 200 y 300 partes por millón (ppm), planteando así un problema de salud pública (Shahroom *et al*., 2019).

El flúor muestra una gran afinidad por los tejidos duros del cuerpo, permitiéndole depositarse en dientes y huesos donde ayuda a mantener la estructura y función de estos tejidos. Los informes científicos han evidenciado que la aplicación y el uso adecuado de cantidades específicas de flúor desde la infancia hasta la edad adulta pueden prevenir la caries dental (Whelton *et al*., 2019).

UN POCO DE HISTORIA

En 1901, el odontólogo Frederick McKay observó la aparición de manchas marrones y blancas en los dientes de los residentes nativos de Colorado Springs. Además de estas manchas, notó que la superficie del esmalte dental mostraba cavidades con forma de cráteres. Intrigado por esta alteración morfológica inusual, McKay se dispuso a investigar su origen, ya que no existían informes científicos sobre este fenómeno. En casos más graves pudo observar que el esmalte se volvía más frágil y presentaba pérdida de tejido en forma de lagunas.

© **Gabriela Torres Ruiz**. Ojos. Tríptico, fotografía digital, 2020.

Además, observó cambios en la coloración, que variaba desde tonos marrones hasta manchas de color negro (McKay, 1948).

En 1909, el doctor McKay examinó a 2,495 niños de escuelas públicas en Colorado Springs para buscar evidencia de estas manchas color marrón. Sorprendentemente, reportó que el 87.5 % de los niños examinados presentaba estas manchas en los dientes. Además, encontró que esta alteración también estaba presente en otras comunidades de Saint Louis. Como suele ocurrir ante fenómenos desconocidos, los habitantes de estas comunidades tenían sus propias teorías sobre el origen de estas manchas, y las atribuían al consumo de leche en mal estado, carne de cerdo y exceso de calcio en el agua (McKay, 1952; McKay, 1948).

Dado que no había evidencia científica que explicara esta condición, estas manchas comenzaron a denominarse "manchas café de Colorado". La Sociedad Dental de Colorado Springs determinó que el 90 % de los niños nacidos en esta comunidad presentaba estas manchas. El eminente doctor Greene Vardiman Black, conocido como el padre de la odontología moderna, se interesó por las investigaciones de McKay y comenzó a colaborar con él. Black viajó a Colorado Springs para observar por sí mismo estas manchas de esmalte moteado y quedó asombrado.

Describió esta alteración no solo como una deformidad de la niñez, sino como una condición presente a lo largo de toda la vida. Esto lo llevó a investigar durante seis años en busca de una explicación del origen de estas manchas. Curiosamente, uno de los hallazgos clave del trabajo conjunto entre McKay y Black fue que los dientes con manchas marrones eran más resistentes a la caries (McKay, 1952; McKay, 1948).

Más adelante, McKay se reunió con los padres de niños con manchas marrones en Oakley, Idaho, quienes mencionaron que solían consumir agua de un manantial. Intrigado por esta información, McKay investigó el agua y no encontró nada inusual en su contenido. Sin embargo, cuando los niños dejaron de consumir agua de este manantial y erupcionaron sus dientes permanentes, las manchas marrones ya no estaban presentes en el esmalte. La teoría del agua como factor causal dio un gran paso en el año de 1923, aunque aún no se había identificado el elemento específico del agua responsable de las manchas marrones (McKay, 1952).

A principios de la década de 1940, el doctor Henry Trendley Dean, jefe de la Unidad de Higiene Dental del Instituto Nacional de Salud de los Estados Unidos, comenzó a examinar el agua de los pozos para determinar el nivel de contenido de flúor necesario para que aparecieran las manchas marrones en el esmalte. También estableció la relación dosis-respuesta entre la concentración de flúor

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 31. Díptico, fotografía digital, 2019.

natural en el suministro de agua y la fluorosis dental (Dean, 1936).

Posteriormente, el doctor Elías Evolve desarrolló una técnica para detectar la cantidad de flúor en el agua, y concluyó que el riesgo de aparición de las manchas marrones aumentaba cuando el contenido de flúor en el agua superaba una parte por millón (Russell, 1951).

EL MECANISMO DE ACCIÓN

El flúor es ampliamente conocido por sus beneficios para la salud dental: favorece la mineralización del esmalte y previene la caries. Sin embargo, un exceso de ingesta de agua con altos niveles de flúor puede ser perjudicial y puede resultar en la llamada fluorosis dental. Este término fue acuñado por primera vez en 1937 por el doctor Trendley Dean. Durante el período de formación del esmalte, que abarca desde los 6 meses hasta los 4 años, el flúor se distribuye y absorbe en el esmalte dental. Una ingesta crónica y en concentraciones elevadas afecta la función de los ameloblastos, las células que participan en la formación del tejido del esmalte. A medida que se acerca a los ocho años, el riesgo de fluorosis disminuye, en parte debido a una disminución en el proceso de calcificación del esmalte (Shahroom *et al*., 2019).

La fluorosis dental ha captado cada vez más la atención de los investigadores en sistemas de salud de todo el mundo y es considerada un problema endémico en algunas regiones y un desafío de salud pública.

Se caracteriza por un aumento en la porosidad de la superficie del esmalte, presencia de manchas blancas, opacas y marrones, y por la formación de hendiduras transversales que pueden alterar la morfología y dar lugar a fracturas extensas y fisuras que facilitan la rotura del esmalte con una mínima fuerza. Esto puede predisponer a la acumulación de placa bacteriana, al desarrollo de caries y afectar la sensibilidad dental, además de provocar daños estructurales como picaduras o astillas (Pini *et al*., 2015).

LA GEOGRAFÍA Y LA CONCENTRACIÓN DE FLÚOR

Diversos estudios han revelado concentraciones excesivas de flúor en el agua en más de 50 países de Asia y África (Kurdi, 2016) incluyendo India, Corea, Tailandia, Sri Lanka, Indonesia, Yemen, Pakistán, Irak, Siria, Jordania, Palestina, Bangladesh, Irán, Arabia Saudita, así como en la región que se extiende desde Turquía hasta China y Japón.

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 33. Díptico, fotografía digital, 2020.

La India presenta uno de los mayores problemas de contaminación por flúor en las aguas subterráneas, que son la principal fuente de agua potable cuya demanda continúa en aumento debido al crecimiento de la población (Gleeson *et al*., 2012).

En México se han reportado altas concentraciones de flúor en el norte y centro del país, así como en las áreas geotermales. Los estados más afectados incluyen Durango, Chihuahua, Sonora, Jalisco, Guanajuato, Zacatecas, San Luis Potosí y Aguascalientes, que son considerados como zonas endémicas. Estas áreas se encuentran en el cinturón de la Sierra Madre Occidental, una cadena montañosa de origen volcánico con alta concentración de minerales y vidrio volcánico, lo cual podría explicar las altas concentraciones de flúor en el agua de consumo. Las rocas ígneas de composición ácida contribuyen al aumento de flúor en el agua subterránea (Ferrari *et al*., 2005).

En América, las regiones áridas y semiáridas incluyen Estados Unidos, Bolivia, México, El Salvador, Chile, Nicaragua, Perú y Argentina. En México, la Sierra Madre Occidental se encuentra en una de las zonas áridas, con agua subterránea de pH alcalino y alta evaporación, lo que concentra aún más contaminantes como arsénico y flúor en las partes menos profundas de los acuíferos. En Chihuahua y Durango se han reportado concentraciones de fluoruros en el agua del grifo de hasta 9.23 mg/L, diez veces más que lo establecido por la Norma Oficial Mexicana.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que el agua potable no debe contener más de 1.5 mg/L de fluoruro para el consumo humano, mientras que el agua embotellada no debe superar los 0.7 mg/L.

En México, el agua subterránea es una fuente esencial para uso doméstico, por lo que su calidad y seguridad son fundamentales para evitar riesgos a la salud (Ferrari *et al*., 2005).

Aproximadamente 20 millones de personas en el país consumen agua con concentraciones de flúor superiores a 1,500 µg/L. En estados como San Luis Potosí, Durango, Zacatecas, Jalisco, Chihuahua y Sonora se han reportado niveles de flúor en un rango de 4,500 a 29,600 µg/L.

Este problema es tan grave que alrededor de 6.5 millones de niños menores de 5 años están expuestos a niveles de flúor lo suficientemente altos como para afectar su salud.

La contaminación por flúor en las aguas subterráneas se ha convertido en un problema global, ya que es un fenómeno natural e incontrolable (Sharma *et al*., 2015).

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 39. Díptico, fotografía digital, 2020.

FLUORACIÓN DEL AGUA

La fluoración del agua potable es una estrategia de salud pública implementada a nivel comunitario que consiste en la adición controlada de compuestos fluorados al sistema de distribución pública de agua. El objetivo es ajustar la concentración de fluoruro a un nivel óptimo para la prevención de la caries dental.

Sin embargo, es esencial encontrar un equilibrio entre la prevención de caries y la posibilidad de ocurrencia de fluorosis dental.

A mediados de la década de 1940, en Estados Unidos se ajustó la concentración de flúor en el agua potable a 1 ppm, lo que resultó en una reducción del 50 % en la incidencia de caries.

En 1958, la OMS recomendó la fluoración del agua como medida preventiva. En aquellos años, las pastas dentales y enjuagues con flúor no estaban ampliamente disponibles, lo que hacía que la ingesta sistémica de flúor a través del agua potable fuera la principal opción.

En 1970, menos del 5 % de las pastas dentales vendidas en Inglaterra contenían flúor, mientras que, en 1976, más del 90 % ya lo incluía en su composición (Shahroom *et al*., 2019).

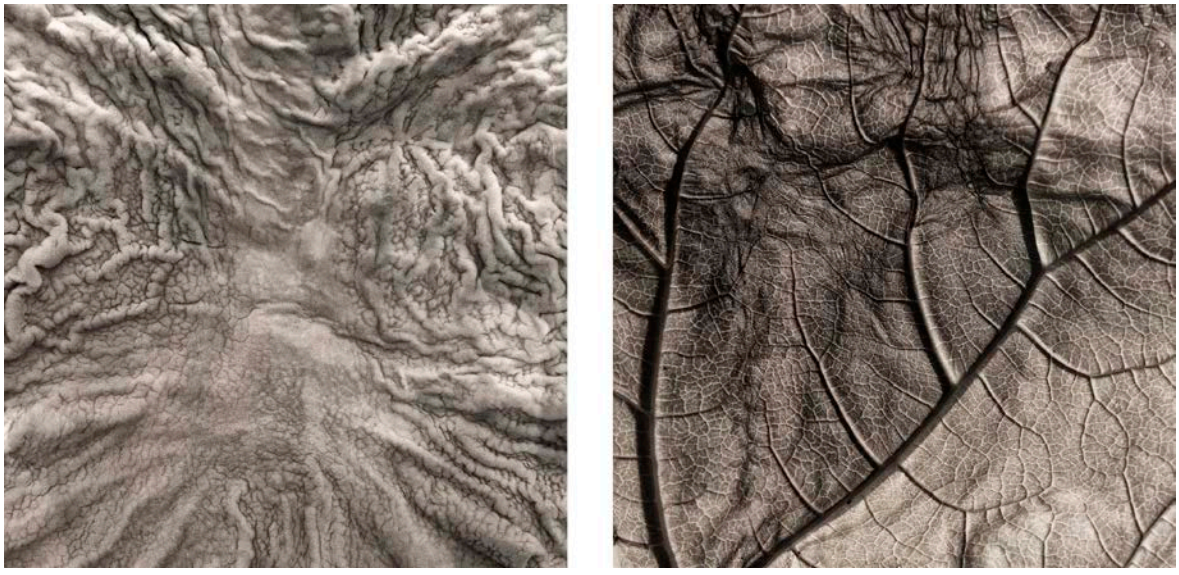
La fluoración comunitaria del agua demostró ser capaz de reducir hasta en un 60 % la incidencia de caries, lo que la convierte en una medida eficaz para prevenir esta enfermedad.

Sin embargo, en contraste con esto, en la actualidad, el 98 % de los países europeos prohíben la fluoración del agua potable y optan por fluorar agua con ciertas sales o tabletas en lugares específicos que lo requieran.

Estudios recientes han cuestionado la eficacia de la fluoración del agua potable en la reducción significativa de la caries, y sostienen que mejorar los hábitos de higiene y alimentación continúa siendo más efectivo para mantener una salud oral óptima (Whelton *et al*., 2019).

EFECTOS NEGATIVOS DEL EXCESO DE FLÚOR

La ingesta crónica de fluoruro en concentraciones elevadas desde la niñez provoca una serie de efectos adversos que abarcan desde la salud dental hasta el funcionamiento de diversos sistemas del cuerpo, como problemas en los sistemas reproductivo, renal, gastrointestinal, endocrino y dermatológico. Además, se ha observado un incremento en el número de fracturas óseas y cálculos renales como consecuencia de la exposición excesiva al flúor (Russell, 1951).



© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 34. Díptico, fotografía digital, 2019.

Estudios científicos han revelado que el exceso de flúor puede tener diversos impactos perjudiciales en la salud. Se ha observado una disminución en las tasas de natalidad, así como en la función tiroidea y la tolerancia a la glucosa.

Además, se han reportado niveles más bajos de coeficiente intelectual en individuos expuestos a altas concentraciones de flúor. Asimismo, se ha asociado la exposición al flúor con problemas neurológicos y una disminución en las capacidades cognitivas (McKay, 1948).

La fluorosis esquelética es uno de los resultados más graves de la exposición prolongada a altos niveles de flúor. Una forma extremadamente severa de la fluorosis esquelética es conocida como fluorosis invalidante (*crippling skeletal fluorosis*, en inglés), la cual no solo afecta al sistema óseo, sino también al articular y, en casos extremos, al neurológico debido a la compresión de la médula espinal (Russell, 1951).

Una reacción de hipersensibilidad asociada a la exposición a compuestos fluorados se conoce como fluoroderma. Esta condición se manifiesta a través de lesiones pápulonodulares en la región perioral y la frente, que puede extenderse hacia cuello, tórax y dorso. En algunos casos se pueden presentar placas exudativas, nódulos y úlceras malignas fungiformes necróticas (Blasik, 1979).

CONCLUSIÓN

Es importante destacar que la ingesta de flúor debe ser cuidadosamente regulada para evitar efectos adversos y lograr un equilibrio entre los beneficios para la salud dental y los riesgos para la salud general. El flúor ha desempeñado un papel fundamental tanto en la prevención de la caries dental como en la generación de problemas de salud pública cuando su ingesta es excesiva. El enfoque actual se dirige hacia la administración controlada y efectiva del flúor, y reconoce que su uso adecuado puede ser beneficioso, pero requiere una consideración cuidadosa y una implementación responsable para maximizar los beneficios y minimizar los riesgos.

REFERENCIAS

Dean H and Elvove E (1936). Some epidemiological aspects of chronic endemic dental fluorosis. *Am J Public Health Nations Health* 26(6):567-575.

Ferrari L, Valencia-Moreno M and Bryan S (2005). Magmatism and tectonics of the Sierra Madre Occidental and its relation with the evolution of the western margin of North *America Bol Soc Geol* 57(3):343-378.

Gleeson T, Wada Y, Bierkens MF and van Beek LP (2012). Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. *Nature* 488:197-200.

McKay FS (1948). Mass control of dental caries through the use of domestic water supplies containing fluorine. *Am J Pub Health* 38:828.

© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2018.

McKay FS. (1952). The study of mottled enamel (dental fluorosis). *J Am Dent Assoc* 44(2):133-7.

Pini NIP, Sundfeld-Neto D, Aguiar FHB, Sundfeld RH, Martins LRM, Lovadino JR and Lima DANL (2015). Enamel microabrasion: an overview of clinical and scientific considerations. *World J Clin Cases* 16:34-41.

Russell AL and Elvove E (1951). Domestic water and dental caries. VII. A study of the fluoride-dental caries relationship in an adult population. *Public Health Rep* 66(43):1389-1401.

Shahroom NS, Mani G and Ramakrishnan M (2019). Interventions in management of dental fluorosis, an endemic disease: A systematic review. *J Family Med Prim Care* 8:3108-13.

Sharma S, Kumar V, Yadav KK, Gupta N and Verma C (2015). Long-term assessment of fly ash disposal on physico-chemical properties of soil. *Int J Curr Res Biosci Plant Biol* 2:105-110.

Whelton HP, Spencer AJ, Do LG and Rugg-Gunn AJ (2019). Fluoride revolution and dental caries: evolution of policies for global use. *J Dent Res* 98(8):837-846.

Marine Ortiz-Magdaleno
Amaury Pozos-Guillén
Facultad de Estomatología
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
marine.ortiz@uaslp.mx

www.elementos.buap.mx

Los caminos de un herbicida peligroso

Licet **Olguín-Hernández**
María Eugenia **Gutiérrez Castillo**

Los plaguicidas sintéticos son sustancias o mezclas tóxicas diseñadas para controlar y matar organismos. Aunque son utilizados en diversos sectores como el industrial, el control de vectores de importancia médica, la silvicultura o en el hogar y los jardines, la mayor parte se destina a la agricultura (Figura 1).

Desde su aparición, el uso de plaguicidas ha ido en aumento en cantidad e intensidad en todo el mundo.

El campo mexicano utiliza al menos 183 plaguicidas clasificados como altamente peligrosos (PAP), de los cuales 140 están prohibidos en otros países (Bejarano, 2017).

Los PAP tienen una o más de las siguientes características: 1) toxicidad aguda alta, lo que significa que personas expuestas a ciertas dosis presentan intoxicación con síntomas casi inmediatos como dolor de cabeza, irritación de ojos, náuseas, vómito, calambres, problemas respiratorios, salivación excesiva y, en casos graves, convulsiones e incluso la muerte; 2) toxicidad crónica, derivada del contacto constante y prolongado con niveles bajos de estas sustancias, que se relaciona con padecimientos como cáncer, diabetes, asma, enfermedad de Parkinson, enfermedades renales, cardiovasculares, problemas reproductivos, endocrinológicos, efectos en el desarrollo neurológico y cognitivo, entre otros; 3) en el aspecto ambiental son bioacumulables y persistentes,

esto se refiere a que se acumulan en los tejidos de los organismos y permanecen por periodos relativamente largos en el agua, el suelo o los sedimentos; 4) ser muy tóxicos en abejas u organismos acuáticos; y 5) estar en algún convenio ambiental que regula o prohíbe su uso (Protocolo de Montreal, Convenio de Rotterdam, Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, etcétera; Bejarano, 2017).

Figura 1. Productos utilizados en la fumigación de un campo de maíz en Oaxaca. Foto de Licet Olguín-Hernández.

En 2020, la gaceta del Diario Oficial de la Federación (DOF) publicó un mandato presidencial en el que se alertó sobre los efectos nocivos del herbicida glifosato (un PAP) en la salud de las personas, el ambiente y la diversidad biológica y se estableció que su uso debe sustituirse gradualmente, de forma tal que, en 2024, esté prohibido por completo en México. Fue el resultado de varios años de discusión y análisis de información basada en evidencias toxicológicas y epidemiológicas, así como de diversos testimonios y activismo de una parte de la comunidad científica y de la sociedad civil. Aunque hubo gran controversia y un sector agroindustrial, comercial y científico nunca estuvo de acuerdo bajo el argumento de falta de certeza, prevaleció la aplicación del principio precautorio que señala que cuando haya peligro de daño grave o irreversible en la salud humana o al ambiente, la falta de certeza científica absoluta no será razón para aplazar la adopción de medidas que impidan estas afectaciones. Esta prohibición hacia el glifosato consideramos fue positiva; sin embargo, hay que recordar que no es el único plaguicida por el cual debemos preocuparnos.

También es cierto que los PAP no han pasado inadvertidos en nuestro país: en febrero de 2022, la Cámara de Diputados aprobó reformas y adiciones a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, con el objetivo de prohibir el uso de plaguicidas altamente peligrosos o aquellas sustancias o compuestos prohibidos en tratados internacionales que México ha firmado. Se trata, sin embargo, de un tema aplazado y que no ha sido discutido ni aprobado en la Cámara de Senadores, por lo que los PAP no están regulados y se siguen usando.

En nuestro país, la NOM-082-SAG-FITO/SSA1-2017 es la que regula las dosis y frecuencia para la aplicación de plaguicidas (sin especificar nombres químicos) en cultivos cuyo producto es de consumo humano y establece límites máximos permisibles de residuos (ingrediente activo) o la combinación con metabolitos, derivados y compuestos relacionados. Su limitante es que basa sus estimaciones en información toxicológica de exposición aguda. No obstante, la comunidad científica está actualizando constantemente la información toxicológica de los plaguicidas y se observa que las concentraciones que en tiempos pasados se consideraban como seguras, ya no lo son.

La situación se complica si consideramos que el sector agrícola hace un uso continuo, intensivo y comúnmente poco responsable, lo que contribuye a exposiciones a largo plazo.

Figura 2. Trabajadores agrícolas fumigando un campo de maíz en Oaxaca. Foto de Licet Olguín-Hernández.

El 2, 4-diclorofenoxiacético (en adelante 2, 4-D) es un PAP de muy amplio uso en los campos mexicanos y en el mundo; se aplica para controlar arvenses (plantas silvestres que crecen en campos de cultivo agrícola y pasturas). Su nombre químico puede no resultar familiar, pero quizá alguno de los nombres con los que se comercializa pueda ser reconocido por el lector: Hierbamina©, Herbipol©, Lucamina©, Esterón©, TordónXT©, Focus©, Banvel©, entre otros muchos. En la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 2,4-D se ubica en la clase II ("moderadamente peligroso"), y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) lo coloca en la Clase I o hasta en la Clase III (dependiendo de en cuál de sus formas químicas se encuentra en la formulación: ácido, éster o sal. Esta última es la más tóxica). Asimismo, el Centro de Investigación Internacional sobre el Cáncer (IARC por sus siglas en inglés) lo ha clasificado como posible carcinógeno para humanos; esta categoría significa que hay evidencia limitada en modelos animales experimentales. El 2,4-D está prohibido en Mozambique, Noruega y Vietnam. En su forma de éster no se permite la aplicación vía aérea en Guatemala y recientemente fue prohibido en Argentina. En contraste, otros países, como Canadá, consideran que el 2,4-D cumple con sus normas en salud y estándares de seguridad, y que no aumenta el riesgo de cáncer, siempre y cuando se sigan las instrucciones de la etiqueta; y que, si bien hay reportes de residuos de 2,4-D en la orina de niños canadienses, estos están por debajo de los niveles de riesgo. No obstante, han establecido medidas para minimizar la exposición de usuarios y reducir la liberación al ambiente. Entre ellas, zonas de amortiguamiento para resguardar la vegetación adyacente a las zonas fumigadas, y mejoras en las instrucciones de las etiquetas sobre el manejo y las dosis mínimas efectivas.

El amplio uso de 2,4-D se asocia a su selectividad, eficacia y sobre todo a su bajo costo y fácil acceso. Los trabajadores agrícolas, campesinos y sus familias son el grupo de individuos más expuestos a sus efectos nocivos al estar en contacto directo durante la preparación, aplicación y limpieza del equipo de fumigación; o bien, al realizar labores dentro de los campos (Figura 2). No obstante, la población circundante a los sitios fumigados también puede estar expuesta a través de agua, alimentos o materiales contaminados. A pesar de

este panorama, la población tiene poca o nula información sobre este tipo de compuestos.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es describir de manera breve y sencilla datos importantes sobre el 2,4-D: ¿qué características posee?, ¿cómo funciona?, ¿qué pasa cuando se aplica en el campo?, ¿cómo entra al cuerpo humano?, ¿qué se conoce sobre sus efectos adversos a la salud humana? La motivación final es esclarecer dudas, identificar vacíos de información y conflictos de interés para apoyar la concientización y discusión pública sobre el controvertido uso de este y otros plaguicidas. Asimismo, contribuir a que la sociedad tome una postura, participe e incida en el desarrollo de una política pública.

UNA HISTORIA TRUCULENTA

El 2,4-D no solo es uno de los plaguicidas más usados, sino también uno de los más antiguos; fue puesto en el mercado en 1946 para uso en diversos sectores (agrícolas, residenciales, industriales, entre otros), pero su origen se remonta a años antes, en el contexto de la investigación militar, en el que se consideraba una posible arma química para destruir los cultivos de los países rivales y, con ello, mermar la producción de alimentos. En la década de 1960 otro uso bélico le fue destinado: fue un componente del "Agente Naranja" utilizado en la Guerra de Vietnam (Bejarano, 2007).

El Agente Naranja, llamado así por el color de las franjas en los contenedores usados para almacenarlo, fue rociado sobre las selvas de Vietnam con resultados desastrosos. Debido a su efecto defoliante, una parte importante de la vegetación de dicho país fue destruida y durante las siguientes décadas (incluso hasta hoy) la población (y también los soldados estadounidenses) han presentado diversos padecimientos y malformaciones que se atribuyen a la exposición a los compuestos químicos presentes en el Agente Naranja (en particular a una dioxina, un subproducto contaminante que contenía).

2,4-D EN ACCIÓN

Al igual que nuestro ya conocido y muy sonado glifosato, el 2,4-D es un herbicida sintético, es decir, una sustancia química diseñada en laboratorio y producida industrialmente con el objetivo de matar plantas. Se considera selectivo porque elimina hierbas de hojas anchas sin afectar a las de hojas largas y delgadas como maíz, trigo, cebada, arroz, caña, pastos, entre otros. La aplicación se puede hacer durante todo el ciclo del cultivo: directamente en el suelo antes de que las semillas germinen (preemergencia), en las primeras etapas después de la germinación (posemergencia) y antes de cosechar (precosecha). También es común que se combine con herbicidas no selectivos para "mejorar" los resultados, y en bajas concentraciones se utiliza para reducir la caída de la fruta antes de las cosechas o para aumentar su período de almacenamiento. También se aplica en zonas con césped como jardines públicos y residenciales, campos deportivos (de golf, futbol, etc.), así como zonas industriales y orillas de caminos, entre otros.

Una vez que se aplica, el 2,4-D ingresa a la planta a través de las hojas, tallos y raíces; viaja por el sistema vascular y se traslada a todos los órganos. Es considerado un imitador de hormonas vegetales porque su estructura y función son análogos a los de una auxina (la fitohormona ácido-3-acético, relacionada con procesos de crecimiento y respuestas a luz y gravedad), lo que provoca la alteración de los procesos fisiológicos de la planta. Como resultado de la exposición a 2,4-D hay crecimiento anormal en las hojas, se deforman y dejan de crecer; las raíces se adelgazan y atrofian; los sistemas conductores se desintegran o bloquean; se detiene la fotosíntesis y la planta muere.

2,4-D EN EL AMBIENTE

Este herbicida tiene alta movilidad ambiental y prolongada vida media bajo condiciones anóxicas (ausencia de oxígeno disuelto, pero en presencia de nitratos); cuando se fumiga no solo queda en la superficie y en el interior de las hierbas que se

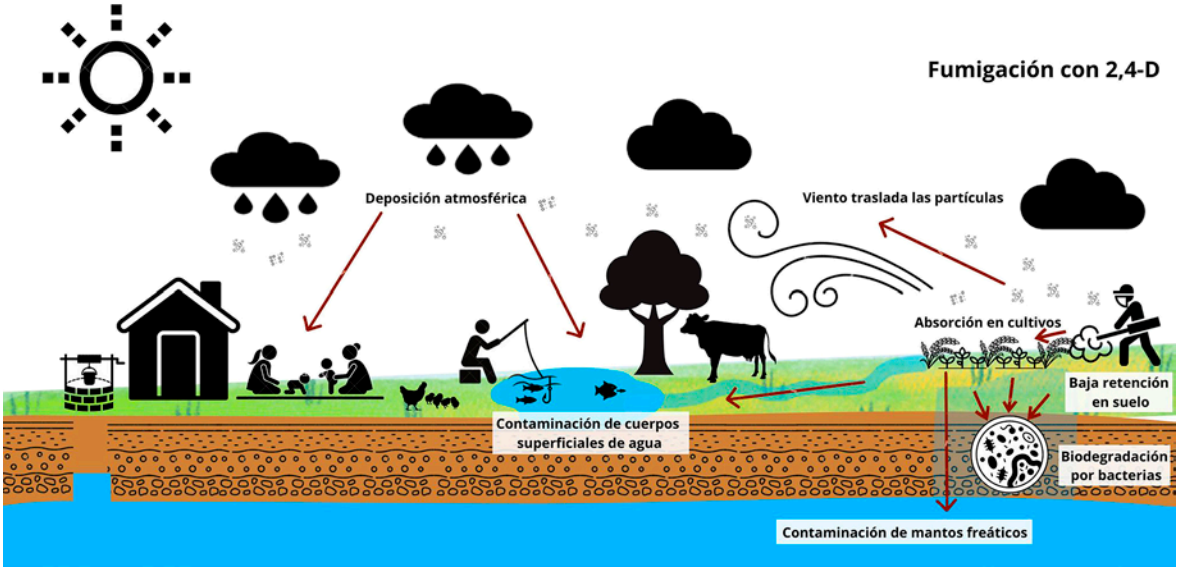


Figura 3. Comportamiento ambiental del 2,4-D.

desea eliminar, sino que la mayor parte se esparce en el ambiente. Las partículas del producto quedan suspendidas en el aire (la concentración depende de la cantidad y frecuencia con que se aplica). El viento las traslada a otros sitios y caen con la lluvia (deposición atmosférica). En el suelo tiene una baja retención, por lo que permanece poco tiempo ahí, sumado a que un grupo específico de bacterias lo biodegradan. Esto depende de las condiciones ambientales, del tipo de suelo y de las poblaciones de microorganismos. Cabe señalar que ser biodegradado no significa que desaparece por completo, sino que se transforma en otros productos (metabolitos), algunos de ellos (como el 2,4-diclorofenol) muy tóxicos para mamíferos y lombrices de tierra. El 2,4-D es altamente soluble en agua, por lo que es arrastrado fácilmente hacia cuerpos superficiales o subterráneos, contaminándolos; incluso puede llegar al mar (Figura 3). Es importante resaltar que se considera nocivo para organismos acuáticos (UNA, 2023).

LA RUTA DEL 2,4-D

Aunque las plantas y el suelo agrícola son los receptores iniciales del 2,4-D aplicado, este llega también a los seres humanos. La forma principal por la que entra al cuerpo de las personas es a través de gotas que caen en la boca o que se inhalan durante la fumigación, así como al consumir agua o alimentos contaminados. La penetración del químico también puede darse por la piel (en menor magnitud), esto por contacto directo (salpicaduras directas en la piel).

Pero, ¿qué pasa una vez que el 2, 4-D entra en el cuerpo de las personas? Luego de que las partículas de 2, 4-D son ingeridas, pasan al sistema digestivo y de ahí a la sangre, donde se unen de forma temporal a proteínas del plasma sanguíneo (albúmina); de esta forma viajan por todo el cuerpo. El 2, 4-D no se acumula en los tejidos y es desechado casi por completo (90 % a 95 % del total) a través de los riñones (por la orina) (Figura 4). Aunque no se acumula en los tejidos, sus efectos sí son potencialmente acumulables y durante su viaje dentro del cuerpo puede causar daños celulares y afectar los tejidos con los que tiene contacto, esto a pesar de que permanece poco tiempo dentro del organismo. Se estima que la eliminación inicia aproximadamente una hora después de haber ingresado y dura alrededor de 24 horas. La intoxicación por 2, 4-D tiene características clásicas de efectos adversos sobre el sistema digestivo, muscular y nervioso. Los síntomas son vómito, mareo, debilidad, rigidez

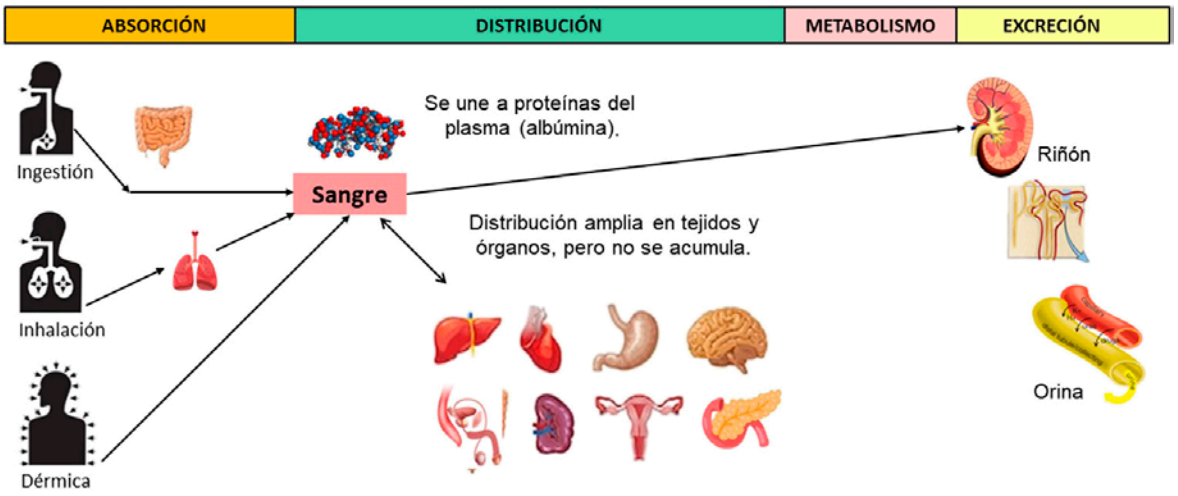


Figura 4. Camino del 2,4-D dentro del cuerpo humano, desde que se absorbe hasta que se excreta.

muscular, falta de coordinación, confusión, hipersalivación, diarrea, entre otros.

LO QUE SE SABE DEL 2,4-D, MÁS ALLÁ DEL CÁNCER

Estudios epidemiológicos lo han relacionado con una mayor incidencia de linfoma no Hodgkin (LNH), un tipo de cáncer del sistema inmunológico, pero hay amplias discusiones con respecto a si se trata o no de una relación causal. Sin embargo, este no es el único riesgo, el 2,4-D es un compuesto neurotóxico; en animales adultos de laboratorio, la exposición a 2,4-D ocasionó la degeneración de las neuronas, así como disminución en el grosor del córtex cerebral (materia gris), lo que derivó en alteraciones en la locomoción y en la conducta (incremento de niveles de ansiedad) (Ueda *et al.,* 2021). Además, la teratogenicidad es positiva, esto significa que puede causar anomalías permanentes en el embrión o feto. También es genotóxico (ocasiona aberraciones cromosómicas) y es considerado un disruptor endócrino con efectos reproductivos, ya que provoca anormalidades y afectaciones a la motilidad de espermatozoides, así como una disminución en su producción y, por tanto, problemas de infertilidad. En los riñones puede causar daño celular por saturación; en el hígado induce procesos de muerte celular, y en los pulmones puede contribuir a la aparición de enfermedad obstructiva crónica (EPOC) (Islam *et al.,* 2018). Por otra parte, se ha documentado que altera el metabolismo de lípidos asociado con el de la glucosa, lo cual se relaciona con el desarrollo de enfermedades vasculares como arteriosclerosis y patologías cardiacas a largo plazo. Aunado a esto, algunas formulaciones de 2,4-D de elaboración industrial pueden estar contaminadas con dioxinas cancerígenas.

A MANERA DE CIERRE

El debate en torno a la regulación de plaguicidas es complicado y enfrenta un dilema. Por un lado, el argumento de una mayor productividad y rendimientos en los cultivos como consecuencia de su uso, aunado al temor de pérdidas en las cosechas y afectaciones en el ingreso económico al abandonarlos, sobre todo entre pequeños y medianos productores que dependen de su actividad agrícola para subsistir. Por otra parte, está el riesgo que representan los plaguicidas para la salud humana y la de los ecosistemas. Sin embargo, no se trata de prohibir su uso y dejar a los agricultores a su suerte. Las regulaciones y prohibiciones deben venir acompañadas con planes y alternativas acordes a sus necesidades y contextos. Además, deben incluir aspectos encaminados a fortalecer la organización,

las capacidades técnicas (en particular las de agricultores pequeños y medianos), mercados y precios justos para sus productos, sobre todo de aquellos que estén en la transición a disminuir o abandonar los plaguicidas sintéticos. Asimismo, el marco legislativo requiere considerar el manejo integral de los plaguicidas desde su producción y uso hasta la protección de la salud pública y la salud ocupacional, la protección del ambiente y el monitoreo para lograr el cumplimiento de la normatividad.

A pesar de sus casi 80 años en el mercado, de ser el segundo plaguicida más utilizado en el mundo y de la existencia de un considerable número de trabajos sobre este ingrediente activo, aún hay aspectos que se desconocen o no están del todo claros acerca de los mecanismos de toxicidad en el ser humano. Hay que considerar que no solo se trata de limitaciones técnicas o metodológicas, existen grandes intereses económicos y políticos en el tema del 2,4-D y de todos los plaguicidas en general. Estos compuestos representan un gran negocio mundial concentrado en unas pocas compañías. Los podemos ver reflejados en trabajos científicos con conflictos de interés (Matías-Guiu y García-Ramos, 2012; Neumeister, 2014), en los cuales algunos autores que hacen publicaciones científicas en torno al 2,4-D están adscritos o financiados por las grandes compañías.

A pesar de la gran controversia existente y de que ciertos grupos defienden sus intereses, la información disponible revela la necesidad de aplicar el principio precautorio y la regulación de los productos que representen riesgo para la población. La discusión pública sobre estos temas debe continuar, se deben analizar a profundidad todos los elementos importantes: lo científico, lo económico, lo social, pero, sobre todo, privilegiar el bienestar y el derecho a una vida sana. Y justo aquí la aplicación del principio precautorio debería ser un eje rector en cualquier decisión.

AGRADECIMIENTOS

Al doctor José Antonio Santos Moreno por sus comentarios a la primera versión de este trabajo.

REFERENCIAS

Bejarano F (2007). El 2,4-D, de arma química a campeón de ventas para las corporaciones transnacionales. En Bejarano F (Ed.). *2,4-D- Razones para su prohibición* (pp.19-46). RAPAM-RAP-AL-IPEN.

Bejarano F (2017). *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México.* RAPAM-CIAD-UCCSRAP-IPEN.

Islam F, Wang J, Farooq MA, Khan MSS, Xu L, Zhu J, Zhao M, Muños S, Li QX and Zhou W (2018). Potential impact of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on human and ecosystems. *Environment International* 111:332-351.

Matías-Guiu J y García-Ramos R (2012). Conflicto de intereses y publicaciones científicas. *Neurología* 27(1):1-3.

Neumeister L (2014). *Riesgos del herbicida 2,4-D*. Testbiotech-GeneWatch-PAN.

Senado de la República (2022). Comisiones se instalan en sesión permanente para analizar dictamen sobre plaguicidas altamente peligrosos. Recuperado de: https://comunicacionsocial.senado.gob.mx/informacion/comunicados/3801-comisiones-se-instalan-en-sesion-permanente-para-analizar-dictamen-sobre-plaguicidas-altamente-peligrosos.

Song Y (2014). Insight into the mode of action of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) as an herbicide: 2,4-D works as herbicide. *Journal of Integrative Plant Biology* 56(2):106-113.

Tayeb W, Nakbi A, Cheraief I, Miled A and Hammami M (2013). Alteration of lipid status and lipid metabolism, induction of oxidative stress and lipid peroxidation by 2,4-dichlorophenoxyacetic herbicide in rat liver. *Toxicology Mechanisms and Methods* 23(6):449-458.

Ueda RMR, de Souza VM, Magalhães LR, Chagas PHN, Veras SC, Teixeira GR and Nai GA (2021). Neurotoxicity associated with chronic exposure to dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) a simulation of environmental exposure in adult rats. *Journal of Environmental Science and Health* 56(8):695-705.

UNA (2023). Manual de Plaguicidas de Centroamérica. Instituto Regional de Estudios de Sustancias Tóxicas (IRET), Universidad Nacional de Costa Rica. Recuperado de: http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/.

Von Stackelberg K (2013). A systematic review of carcinogenic outcomes and potential mechanisms from exposure to 2,4-D and MCPA in the environment. *Journal of Toxicology* 2013:1-53.

Licet Olguín-Hernández
Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca
Instituto Politécnico Nacional
licet.olguin@gmail.com

María Eugenia Gutiérrez Castillo
Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo
Instituto Politécnico Nacional

© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2019.

Inversión de la flecha del tiempo por una computadora cuántica

A. Akari **Uc Guerra**
Manuel **Ávila Aoki**

La flecha del tiempo es un concepto que hace referencia a la aparente direccionalidad del tiempo (Deutsch, 1997). En el universo, el tiempo parece fluir inexorablemente del pasado al futuro.

En un proceso termodinámico de un estado de equilibrio inicial a un estado de equilibrio final, la entropía, que no es más que la medida del desorden en un sistema (Tipler, 1999), cambia de un valor inicial (S_i) a un valor final (S_f). Esto último ocurre en diferentes instantes del tiempo, de un tiempo inicial t_i a un instante de tiempo final t_f ($t_f > t_i$). Es decir, la entropía de un sistema cambia con el tiempo en un proceso termodinámico irreversible. (Tipler, 1999). En otras palabras, bajo ciertos parámetros, establece que la entropía siempre aumenta en un sistema aislado. Como resultado, el universo se vuelve más desordenado con el tiempo.

La flecha del tiempo ha sido una fuente de misterio durante siglos. ¿Por qué el tiempo parece fluir en una sola dirección? Existen múltiples teorías que buscan explicar este fenómeno, pero aún no hay alguna que resulte completamente satisfactoria.

En el artículo “Quantum coherence in many-body systems” (Coherencia cuántica en sistemas de muchos cuerpos), publicado en la revista *Reviews of Modern Physics* en 2017, Streltsov y colaboradores afirman que:

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 27. Díptico, fotografía digital, 2019.

> [...] la coherencia cuántica en sistemas de muchos cuerpos encarna la esencia del entrelazamiento y es un ingrediente esencial para una gran cantidad de fenómenos físicos en óptica cuántica, información cuántica, física del estado sólido y termodinámica a nanoescala.

Una de las teorías más prometedoras para explicar la flecha del tiempo es la teoría cuántica de la decoherencia (Nielsen y Chuang, 2000). La decoherencia es un proceso por el cual los sistemas cuánticos interactúan con su entorno y pierden la señal que los identifica (coherencia). Esta pérdida de coherencia conduce al surgimiento del comportamiento clásico, incluida la aparente direccionalidad del tiempo.

En los últimos años, a partir de los descubrimientos de Lesovik y colaboradores (2019) ha habido un incremento en el interés por la capacidad de las computadoras cuánticas por invertir la flecha del tiempo. Las computadoras cuánticas son máquinas que pueden manipular y procesar información a nivel cuántico. Esto quiere decir que no están sujetas a las mismas limitaciones que las computadoras clásicas y, por lo tanto, tienen la capacidad de realizar cálculos que le llevarían miles de años realizar a una computadora clásica ordinaria tal como la conocemos.

En Austria, un grupo de investigadores de la Universidad de Innsbruck, publicó un artículo en 2019 en el que se demostraba que es posible invertir la flecha del tiempo en una computadora cuántica de IBM (Lesovik *et al*., 2019). Los investigadores utilizaron la computadora cuántica para simular la trayectoria cinemática de un electrón que modifica dicha trayectoria debido a la colisión con otro cuerpo. Descubrieron que era posible invertir la trayectoria del electrón aplicando una operación de inversión en el tiempo que se podría ver matemáticamente como la inversión de por en las ecuaciones de movimiento.

Con base en los resultados obtenidos, se sugiere que las computadoras cuánticas también podrían usarse para invertir la flecha del tiempo en otros sistemas. Esto podría tener múltiples aplicaciones importantes, como permitir rebobinar la evolución de un sistema físico para observar cómo habría cambiado si las condiciones iniciales hubiesen sido distintas. Sin embargo, es importante resaltar que la capacidad de invertir la flecha del tiempo en una computadora cuántica no quiere decir que los viajes en el tiempo sean posibles. Las leyes de la física clásica nos impiden hacerlo. Lo que muestra ese

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Díptico, fotografía digital, 2019.

experimento es que existe la posibilidad de invertir la dirección del tiempo en un sistema cuántico.

El estudio de la flecha del tiempo es un campo complejo y desafiante, pero también es una de las áreas de investigación más fascinantes de la física. La capacidad de invertir la flecha del tiempo en una computadora cuántica es un gran paso para la investigación, pues abre una nueva gama de posibilidades. Será interesante ver qué nuevos conocimientos arroja sobre la naturaleza del tiempo.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

El concepto de la flecha del tiempo está estrechamente relacionado con el concepto de entropía. En un sistema cerrado, la entropía siempre aumenta con el tiempo. Esto significa que el sistema se vuelve más desordenado con el tiempo.

La flecha del tiempo se puede explicar haciendo uso de la entropía mediante el siguiente argumento:

- El pasado está más ordenado que el presente.
- El presente está más desordenado que el futuro.
- Por lo tanto, la flecha del tiempo debe fluir desde el pasado hacia el futuro.

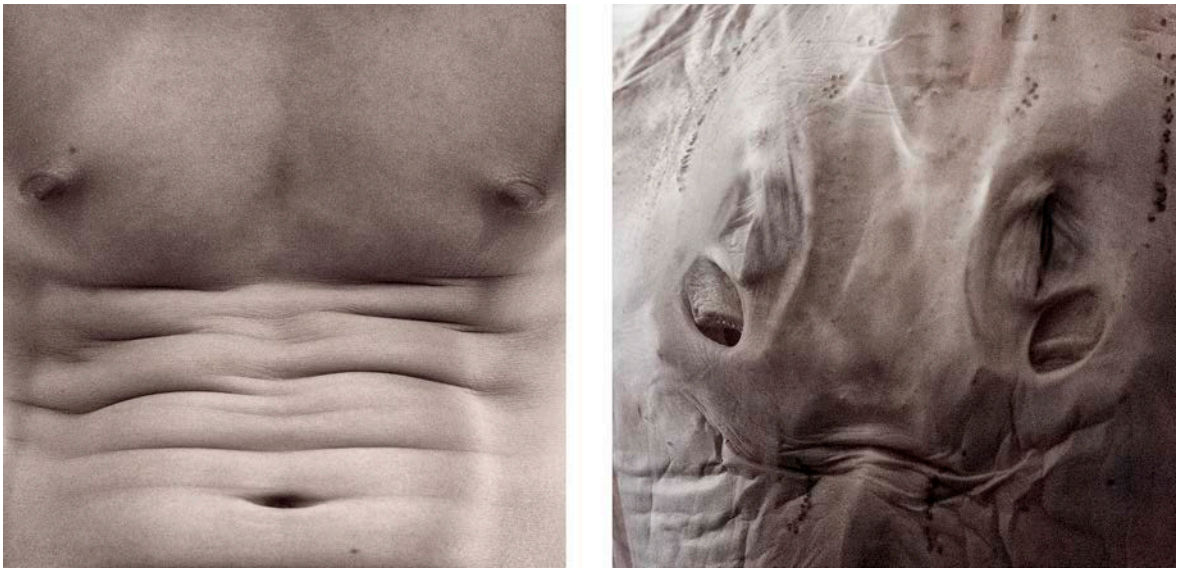
La razón por la que el pasado está más ordenado que el presente es porque el universo estaba en un estado más ordenado en el pasado. Esto se debe a que el universo comenzó en un estado muy ordenado y desde entonces ha ido evolucionando hacia un estado más desordenado. La razón por la que el presente está más desordenado que el futuro es porque el futuro aún no está aquí. El futuro todavía se está creando y, por lo tanto, está más desordenado que el presente, que ya está aquí.

EL EXPERIMENTO DE LA COMPUTADORA CUÁNTICA DE IBM

El experimento con la computadora cuántica de IBM que se llevó a cabo en 2019 utilizó una técnica llamada tomografía de estado cuántico que mide la trayectoria cinemática de un electrón disperso. La tomografía de estado cuántico es una técnica que nos permite reconstruir el estado cuántico de un sistema a partir de una serie de medidas.

Los investigadores descubrieron que era posible invertir la trayectoria del electrón aplicando una operación de inversión de tiempo al estado cuántico del sistema. Esta operación de inversión del tiempo se implementó utilizando una técnica llamada teletransportación cuántica.

La teletransportación cuántica es una técnica que nos permite transmitir el estado cuántico de una



© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Díptico, fotografía digital, 2019.

partícula de un lugar a otro (Bennett *et al*., 1993). Los investigadores utilizaron la teletransportación cuántica para transmitir el estado cuántico del electrón en el tiempo, lo que invirtió la trayectoria del electrón.

CONCLUSIÓN

Los resultados del experimento de la computadora cuántica de IBM sugieren que es posible invertir la flecha del tiempo en un sistema cuántico. Se trata de un importante paso adelante y abre todo un nuevo abanico de posibilidades para la investigación.

Como ya se ha mencionado, las computadoras cuánticas podrían usarse para rebobinar la evolución de un sistema físico y observar cómo habría evolucionado de manera distinta en diferentes condiciones iniciales.

Esto podría usarse, por ejemplo, para estudiar el comportamiento de sistemas complejos, como los sistemas meteorológicos o los mercados financieros. Las computadoras cuánticas también podrían usarse para crear simulaciones del pasado. Esto tendría aplicación para estudiar eventos históricos o para crear nuevas formas de entretenimiento. Por supuesto, también existen algunas preocupaciones éticas potenciales asociadas con la capacidad de invertir la flecha del tiempo. Por ejemplo, ¿podrían usarse las computadoras cuánticas para cambiar el pasado? Y si es así, ¿cuáles serían las implicaciones para el libre albedrío y el determinismo?

Todas estas son preguntas importantes que deberán abordarse a medida que continúe la investigación sobre la inversión de la flecha del tiempo. Sin embargo, los beneficios potenciales de esta investigación son grandes y es probable que tengan un impacto profundo en nuestra comprensión del universo.

DIRECCIONES FUTURAS

El experimento de la computadora cuántica de IBM es solo un primer paso hacia la inversión de la flecha del tiempo. Todavía hay muchos desafíos que deben superarse antes de que esta tecnología pueda usarse en aplicaciones prácticas. Por ejemplo, ¿será posible que protocolos cuánticos compilados en una computadora cuántica puedan ser invertidos en el tiempo? Dichos protocolos pueden ser la comunicación cuántica punto a punto entre dos partículas (entrelazamiento cuántico); o bien, la teleportación cuántica.

La computadora cuántica de IBM invirtió la trayectoria de un solo electrón, pero todavía no está

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 21. Díptico, fotografía digital, 2020.

claro si esta técnica se puede utilizar para invertir la flecha del tiempo en sistemas más complejos.

Otro desafío tiene que ver con el hecho de que el experimento de la computadora cuántica de IBM estaba limitado por el tamaño de la computadora cuántica. El cúbit es la unidad mínima lógica de procesamiento cuántico de la información. La computadora cuántica utilizada en el experimento solo tenía cinco cúbits, lo cual no es suficiente para simular un sistema complejo.

A medida que las computadoras cuánticas se vuelvan más grandes y poderosas, será posible superar estos desafíos.

Así, con una visión futurista, podría ser posible utilizar computadoras cuánticas para invertir la flecha del tiempo en simulaciones de sistemas complejos como los sistemas meteorológicos o los mercados financieros. Indirectamente, esto podría significar viajar al pasado. Estas simulaciones podrían utilizarse para comprender mejor el comportamiento de los sistemas y desarrollar métodos para invertir su evolución.

Aunque existen bases científicas que respaldan lo anterior, es mucho más difícil invertir la flecha del tiempo en este tipo de sistemas debido a que están conformados por un gran número de variables que interactúan entre sí de manera compleja. Esto hace que sea muy difícil predecir su comportamiento futuro y, aún más difícil, invertir su evolución.

REFERENCIAS

Bennett CH, Brassard G, Crépeau C, Jozsa R, Peres A and Wootters WK (1993). Quantum teleportation. *Physical Review Letters* 70:1895-1899.

Deutsch D (1997). *The arrow of time*. Oxford University Press.

Highfield R and Coveney P (1992). *The Arrow Of Time: A Voyage Through Science To Solve Time's Greatest Mystery*. Ballantine Books.

Lesovik GB, Khramov AV and Shnirman A (2019). Reversal of the arrow of time by a quantum computer. *Nature Communications* 10:1-8.

Peierls R (1979). *Surprises in Theoretical Physics*. Princeton University Press.

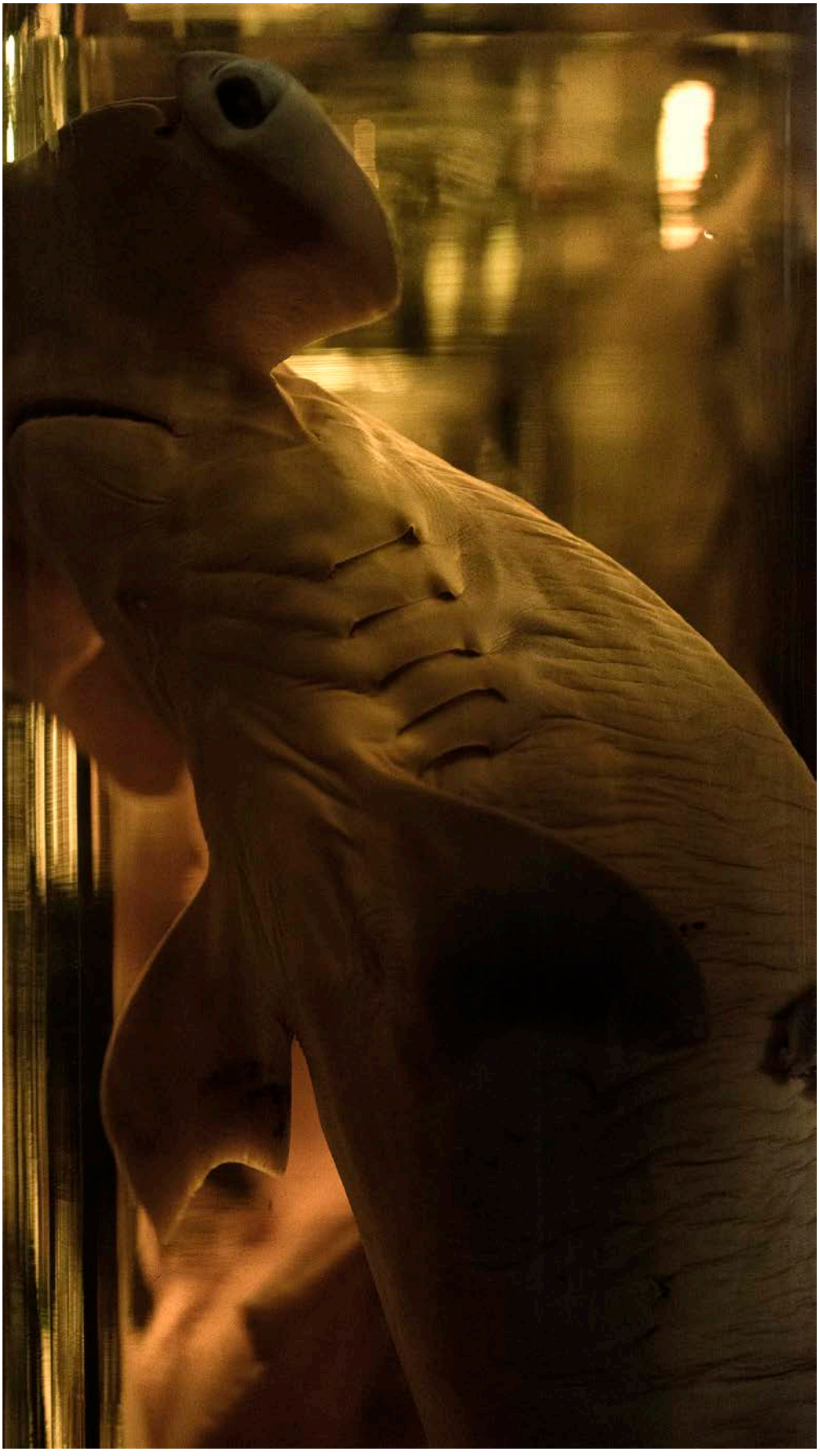
Penrose R (1990). *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics.* Oxford University Press.

Nielsen MA and Chuang IL (2000). *Quantum computation and quantum information*. Cambridge University Press.

Tipler FJ (1999). *The Second Law of Thermodynamics.* Princeton University Press.

Wald RM (2011). *General Relativity.* University of Chicago Press.

A. Akari Uc Guerra
Manuel Ávila Aoki
Centro Universitario UAEM Valle de Chalco
Universidad Autónoma del Estado de México
melphys@gmail.com



© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2019.

Uso del entrelazamiento cuántico para medir la función de onda

Irán **Ramos Prieto**
Francisco **Soto Eguibar**
Héctor M. **Moya Cessa**

La función de onda, que es la solución de la ecuación de Schrödinger, constituye uno de los pilares fundamentales de la mecánica cuántica y ofrece una descripción completa del estado de un sistema cuántico. Cuando dos sistemas interactúan, su descripción se fusiona en una única función de onda que refleja su entrelazamiento. Este entrelazamiento conlleva fenómenos notables, como el hecho de que al separar dos sistemas entrelazados una gran distancia, una medición en uno de ellos provoca un "colapso" instantáneo de la función de onda del otro; Einstein describió este fenómeno como una "acción espeluznante a distancia" (*spooky action at a distance*). En 2022, el Premio Nobel de Física se otorgó a Alain Aspect, John Clauser y Anton Zeilinger por sus contribuciones para el entendimiento y la medición del entrelazamiento cuántico.

Por otro lado, la materia está compuesta por átomos que tienen niveles de energía determinados precisamente por la ecuación de Schrödinger. El estado cuántico de la materia y su composición pueden ser determinados mediante la espectroscopía, que consiste en hacer pasar un haz de luz con propiedades conocidas a través de dicha materia.

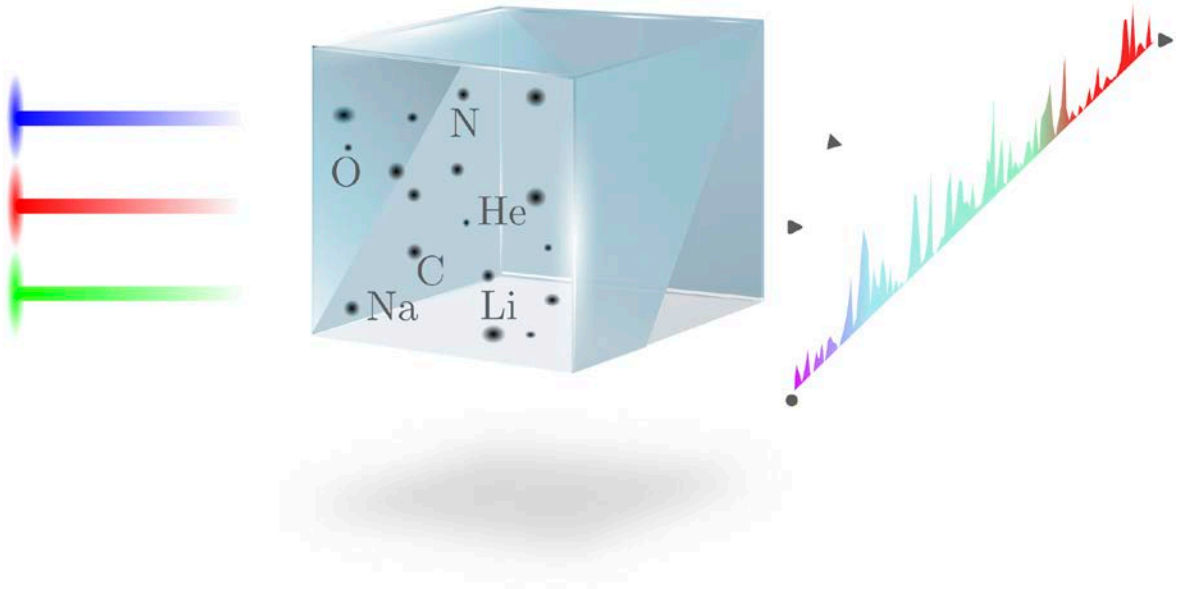


Figura 1. La espectroscopía láser se basa en el análisis de la radiación láser emitida o absorbida por una muestra, y permite deducir información sobre su estructura y composición.

La luz es absorbida y emitida por los átomos en dependencia de cuáles transiciones atómicas son permitidas. Mediante un análisis de la absorción o de la emisión de las distintas frecuencias de la luz podemos determinar finalmente el estado y la composición de la muestra material.

En otras palabras, podemos decir que el análisis espectral se basa en detectar la absorción o la emisión de radiación electromagnética a ciertas longitudes de onda relacionadas con los niveles energéticos implicados en las transiciones cuánticas.

Para esto necesitamos tener bien calibrada la fuente de luz, de manera que conocemos perfectamente las distintas frecuencias o longitudes de onda con que iluminamos el material para poder determinar, eventualmente, qué absorbe o emite (Figura 1).

Cabe señalar que en los estudios espectroscópicos se describe a la luz en forma clásica, es decir, considerándola como una onda electromagnética, y a la materia en forma cuántica, es decir, mediante la mecánica cuántica. Aunque en cierto tipo de estudios y experimentos es posible considerar a la luz clásicamente, en realidad la luz tiene un aspecto cuántico que en otros fenómenos es absolutamente imprescindible tener en cuenta; por ejemplo, la luz tiene que ser tratada cuánticamente cuando interacciona con la materia.

Por lo tanto, así como es muy importante obtener información sobre la estructura de la materia, es también muy importante tener el mayor conocimiento posible sobre la configuración de la luz, tanto en lo que respecta a sus propiedades clásicas como cuánticas.

Para ello, podemos pensar en una especie de espectroscopía inversa; es decir, hacer pasar materia, átomos o moléculas, a través de la luz, analizar el cambio en el estado inicialmente conocido de dicha materia, y tratar de obtener información de la estructura de la luz por la cual atravesó la materia. Justamente es el entrelazamiento cuántico el que nos permite realizar esta tarea.

En general, el estudio de la interacción entre la materia y la luz es de importancia, tanto desde el punto de vista de la física y la química, como desde el de la tecnología.

El premio Nobel de Física del 2023 fue otorgado a Anne L'Huillier, Ferenc Krausz y Pierre Agostini, por desarrollar métodos experimentales para generar pulsos de luz de attosegundos (10^{-18} segundos)

Figura 2. Estados gato de Schrödinger. En la mecánica cuántica, un estado gato de Schrödinger es una combinación lineal de dos estados coherentes con fases opuestas.

que se usan para estudiar la interacción de la luz con la materia y revelar procesos dinámicos en la materia con una resolución sin precedentes.

El Premio Nobel de Química de 2023 tiene también que ver con la dinámica del campo electromagnético (luz) en una cavidad; en este caso se trata del descubrimiento y síntesis de los llamados "puntos cuánticos" (en inglés, *quantum dots*), que son seudopartículas de unos pocos nanómetros de tamaño con propiedades ópticas y electrónicas que difieren de las de partículas más grandes como resultado de los efectos mecánico-cuánticos; los premiados fueron Moungi G. Bawendi, Louis E. Brus y Alexey Ekimov.

Cuando para un problema específico se resuelve la ecuación de Schrödinger, se suelen encontrar varios estados posibles; el principio de superposición de la mecánica cuántica establece que el estado del sistema será la superposición de todos estos estados posibles, con diferentes probabilidades.

Esto contrasta con la mecánica clásica, donde al resolver las ecuaciones correspondientes también se encuentran varios estados posibles, pero la diferencia fundamental es que un sistema clásico solamente puede ocupar uno de esos estados posibles.

En 1935, Erwin Schrödinger planteó un razonamiento ideal, ahora llamado "paradoja del gato de Schrödinger", para ejemplificar cómo esta superposición de estados cuánticos parece absurda con la perspectiva de las teorías clásicas, desde el enfoque del sentido común.

Por lo tanto, la luz, cuando la consideramos cuantizada, puede estar en distintos estados posibles, tal y como un átomo que está cuantizado. La luz puede estar en una superposición de estados de fotones, a los cuales llamamos estados de número; por ejemplo, podemos tener una función de onda donde n, m, y k son números enteros que nos dicen cuántos fotones existen en cada uno de estos estados, y los números a, b y c definen las amplitudes de probabilidad que acompañan tales estados.

En este caso superponemos tres estados posibles, pero en general podemos superponer un número infinito de estados; por ejemplo, los estados más clásicos de la luz, llamados coherentes, son una superposición infinita de estados de número. A la superposición de dos estados coherentes se le conoce como estado gato, justamente porque son similares a los que utilizó Schrödinger para plantear su argumento.

Otro ejemplo de posibles estados son los llamados estados comprimidos, de gran importancia para la detección de ondas gravitacionales. En estos estados las fluctuaciones de una de las llamadas variables canónicas conjugadas (por ejemplo, la posición generalizada) son *comprimidas*, mientras que las fluctuaciones de la otra variable (corresponderían entonces al momento generalizado) se amplifican.

Podemos discernir entre estos distintos estados generando una espectroscopía inversa. Cuando se pasa un átomo al que, debido a sus transiciones, le escogemos dos posibles niveles energéticos que pueden interactuar con un campo cuantizado dentro de una cavidad (Figura 3), los niveles de energía de ambos sistemas se entrelazan y se forma lo que se conoce como una "molécula".

La función de onda total se puede escribir como donde y se refieren a las funciones de onda asociadas a los estados excitado y base del átomo, y a las funciones de onda del campo electromagnético asociadas a los estados excitado y base del átomo.

Debido a su velocidad, el átomo, al pasar, se entrelaza con el campo, generando el estado anterior,

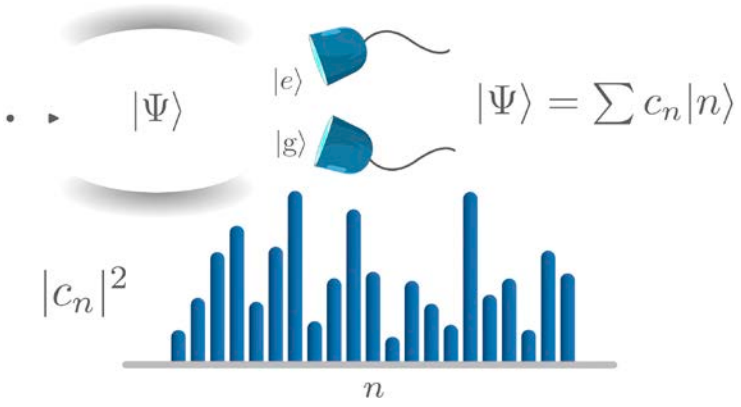


Figura 3. Esquema para la medición de la función de onda del campo electromagnético cuantizado mediante el paso de átomos de dos niveles a través de la cavidad que contiene dicho campo. En la parte superior izquierda se muestra al átomo a punto de entrar a la cavidad en donde existe el campo descrito por la función de onda, |ψ>. Esta función está descrita por la superposición de estados de número con amplitudes de probabilidad cn (descrito en la parte superior derecha). En la parte de abajo de la figura se muestran las probabilidades de que el campo tenga precisamente n fotones. Después de pasar por la cavidad, el átomo se mide en su estado excitado |e>, o en su estado base |g>. Debido al entrelazamiento cuántico, esta medición nos permite conocer las características cuánticas del campo electromagnético dentro de la cavidad.

que no se puede factorizar como una función de onda del átomo por otra del campo electromagnético; es decir, el sistema está entrelazado. El átomo podría seguir viajando una vez que salió de la cavidad y llegar a distancias inmensas y, una vez que se midiera, por ejemplo, del otro lado del universo, en alguno de sus dos estados, el entrelazamiento provocaría que en la cavidad se colapsara el estado del campo al estado correspondiente de la medición: precisamente, la espeluznante acción a distancia comentada por Einstein.

La función de onda, por otra parte, tiene una correspondencia uno a uno con un número infinito de funciones de cuasiprobabilidad. Se conocen como funciones de cuasiprobabilidad porque tienen las mismas propiedades que una distribución de probabilidad, con la excepción de que pueden tomar valores negativos en ciertas regiones.

Tales funciones fueron introducidas en la mecánica cuántica casi desde sus inicios; la función de Wigner, quizás la más famosa, se introdujo en 1932 para intentar entender la mecánica cuántica a partir de conceptos clásicos tales como el espacio fase (McCoy, por ejemplo, introdujo una función de cuasiprobabilidad en 1932, redescubierta en 1945 por Dirac, y que lleva el nombre de Kirkwood, quien también la introdujo en 1933).

Estas funciones pueden ser usadas para "medir" la estructura cuántica de la luz dentro de una cavidad: al pasar un átomo por la cavidad, los niveles de este se enredarán con los niveles del campo cuantizado dentro de la misma, y al salir de la cavidad y ser medidos, podemos relacionar ciertas características atómicas tales como su polarización o la inversión atómica (probabilidad de que el átomo se encuentra en su nivel excitado, menos la probabilidad de que se encuentre en su nivel base) directamente con funciones de cuasiprobabilidad.

En el caso de una cavidad ideal, esto es sin pérdidas, directamente con la función de Wigner. De esta forma obtenemos información completa de la función de onda y, por lo tanto, podemos medirla.

REFERENCIAS

Einstein A, Podolsky B and Rosen N (1935). Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? *Physical Review* 47:777-780.

Gribbin J (1966). *Schrödinger's Kittens and the Search for Reality. Solving the Quantum Mysteries*, Back Bay Books.

Moya-Cessa HM and Soto-Eguibar F (2011). *Introduction to Quantum Optics*. Rinton Press, New Jersey, 2011.

Pade J (2014). *Quantum Mechanics for Pedestrians 1: Fundamentals*. Springer International Publishing Switzerland.

Silberstein L and Trivelli APH (1945). Quantum Theory of Exposure Tested Extensively on Photographic Emulsions. *Journal of the Optical Society of America* 35:93-107.

Irán Ramos Prieto
Francisco Soto Eguibar
Héctor M. Moya Cessa
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)
feguibar@inaoep.mx

www.elementos.buap.mx

Sincrotrones y biblias:
una mirada a la obra de Gutenberg

Raúl **Marcó del Pont Lalli**

Cinco siglos antes que nerds exitosos, como Steve Jobs o Bill Gates, se convirtieran en *influencers* tecnológicos, Johannes Gutenberg inventó un "dispositivo" que, para los ritmos de difusión de la tardía Edad Media, se volvió "tendencia" con sorprendente velocidad.

Como muestra de la "viralidad" de su ingenio, uno de sus biógrafos, el historiador británico John Man (2009), hizo las cuentas: antes de que Gutenberg se pusiera manos a la obra, hacia 1450, todos los títulos disponibles en Europa (unos pocos miles, por cierto) podrían haberse transportado en un solo carromato. Cincuenta años después de puesta en marcha la imprenta, los títulos ascendían a decenas de miles y los volúmenes individuales a millones. Hoy los libros salen de las imprentas a un ritmo de 10,000 millones al año.

Pero no se trata solo de celebrar un invento por su capacidad de producir cantidades inimaginables de objetos. Hay muchos más resultados a largo plazo de esta idea revolucionaria. El periodista norteamericano Jeff Jarvis considera que este invento dio lugar a una gran excepción histórica cuyo modelo está (o estaba hasta hace muy poco) regido por las prácticas e instituciones a las que dio lugar la cultura impresa, como son la permanencia, la materialidad, la autoría y la autoridad. Y así se abrió lo que Jarvis llama el paréntesis de Gutenberg, entre el largo pasado oral y el nuevo momento digital.

Figura 1. Retrato de Johannes Gutenberg en cobre. Fuente: Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Johannes_Gutenberg#/media/File:Johannes_Gutenberg.jpg.

Y a pesar de esta enorme relevancia, no tenemos registro de cuándo nació Johannes Gensfleisch zur Laden zum Gutenberg, o Johannes Gutenberg, ni sabemos a ciencia cierta qué nombre recibió al nacer, tampoco si se casó o tuvo hijos. Como era común en el siglo XV, algo que desconcierta a nuestro mundo ahogado en imágenes, tampoco tenemos un retrato confiable suyo. El más reproducido (Figura 1), una xilografía de un anciano mirando a la derecha, con la barba cuidadosamente arreglada y una boina plana, se usa en el mismo volumen donde aparece originalmente para retratar a varios personajes más, como el obispo Remigio de Reims (Füsller, 2018: 11).

A pesar de que sus obras impresas rebosan maestría, comparadas incluso con los manuscritos medievales que lo inspiraron, tampoco contamos con evidencia de su formación o sus estudios. Y aunque nos legó algunas joyas editoriales jamás superadas, no han llegado hasta nosotros registros de cómo elaboró una tinta más negra que la noche y de un color durable que no logran ni siquiera las

Figura 2. Prólogo al Pentateuco. *Biblia de Gutenberg* en la Morgan Library & Museum.

actuales, y tampoco cómo fundió sus majestuosos tipos. Y si algo faltaba en este brumoso cuadro, es una vida consumida por las paradojas: ambicionaba la reunificación de la cristiandad, pero su invento ayudó a hacer añicos el frágil e inestable equilibrio religioso medieval. También buscó de mil maneras hacer fortuna, para lo que, como veremos, no le faltaban ingenio y ambición, pero la prosperidad terminó dándole la espalda (Man, 2002).

Sin embargo, siendo prácticamente un espectro, 550 años después de aparecida su deslumbrante *Biblia de 42 líneas* (B42) (Figura 2), un grupo internacional de periodistas que buscaba a las personas que habían cambiado al mundo (para bien, se entiende) consideró a Johannes Gutenberg el "hombre del milenio" (Füssel, 2005: 7).

Los magros archivos disponibles, en buena medida con fallos judiciales, nos han proporcionado solo una imagen nebulosa, fragmentada, de este personaje, lo que ha favorecido muchas veces su mitificación. Sin embargo, para nuestra fortuna, ahí están sus obras, muchas efímeras, como las indulgencias, pero, sobre todo, sus biblias, que, desde inicios de la modernidad, han sido escudriñadas obsesivamente, diseccionadas con una testarudez infinita, e interrogadas de manera minuciosa y perspicaz.

Y en esta búsqueda, los especialistas han echado mano de todas las técnicas disponibles, más allá de su interminable búsqueda en archivos. Los esfuerzos más recientes utilizan sincrotrones, aceleradores de partículas para estudiar la materia y sus

propiedades, diseñados para entender el origen del universo, algo que cuesta asociar con la B42. Estas instalaciones permiten que las partículas se desplacen a gran velocidad y las guían en su trayectoria utilizando campos electromagnéticos que emiten un tipo de radiación –llamada 'luz de sincrotrón'– con la que se puede observar con gran nivel de detalle todo tipo de materiales vivos o inertes, sin afectarlos.

El siguiente texto relata algunos de los resultados, asombrosos, sin duda, que ha aportado el uso de este poderoso instrumento del siglo XXI, para comprender mejor un trabajo artesanal del siglo XV.

UNA RUTA DE SEDA PARA EL PAPEL

El papel tenía un prolongado linaje antes de llegar a Occidente, ocho siglos después de que los chinos elaboraran, al menos desde el siglo II d.C, los más diversos productos, desde lámparas hasta vestidos (Tsien, 1985).

A través de la Ruta de la Seda, esa maraña de caminos que, desde al menos un siglo antes de Cristo, permitió el flujo constante de mercancías, personas e ideas entre China, el Sudeste Asiático, el Mediterráneo y la costa oriental de África, el papel viajó para alcanzar primero Bagdad y El Cairo. Y con la expansión del islam, se hizo presente en el norte de África, en Sicilia y en Gibraltar hacia el siglo IX de nuestra era. En España, por ejemplo, tan temprano como en el siglo X, los musulmanes que habitaban la península lo utilizaban regularmente, como deja constancia el primer misal en parte en papel, en parte en pergamino, que se resguarda hoy en el monasterio de Santo Domingo de Silos, en Burgos (Avrin, 1991).

Y con la fluorescencia de rayos X del sincrotrón fue posible desempolvar las características y procedencia del sustrato sobre el que se imprimieron las B42. Para ello se pudo echar mano de parte de las 49 biblias sobrevivientes (White, 2017), desafortunadamente no todas completas, once que acabaron en los Estados Unidos de América, y las del Vaticano y la Universidad de Sevilla. Y como ha sido norma al escudriñarlas a nivel atómico, se demostró que Gutenberg, aunque tenía producción cercana, prefirió el papel más apreciado de la región del Piamonte,

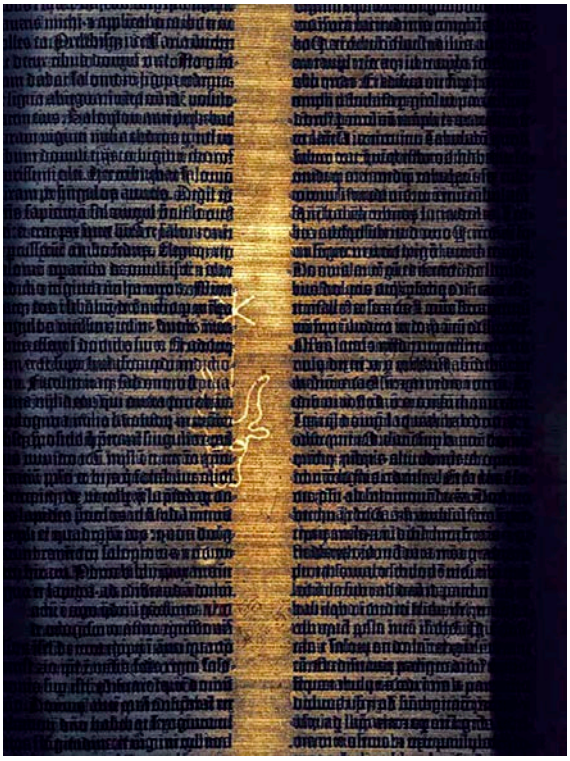


Figura 3. Marca de agua. *Biblia de Gutenberg*, vol. I, p. 164. National Library of Scotland. Fuente: https://digital.nls.uk/gutenberg-bible/archive/75118202?mode=fullsize.

que le llegó a través de un largo camino a lomo de mula hasta Basilea, para posteriormente embarcarlo en su recorrido por el Rin (Avrin, 1991).

El detalle al que se ha llegado a través de estas pesquisas permite que sepamos que proviene de, al menos, tres molinos, identificados por sus filigranas que, como marcas de agua invisibles, aparecen en los pliegos (Figura 3). Y el detalle buscado llevó a los especialistas a saber que en casi tres cuartas partes de las B42 usó papel con una marca de cabeza de buey, mientras que en una quinta parte aprovechó la que se identificaba con un racimo de uvas, y la restante décima parte tenía como rasgo propio el cuerpo completo de un buey.

El que fueran tres diferentes suministros se debió, muy posiblemente, al resultado de un proceso de producción que se fue ajustando conforme avanzaba la impresión y los tropiezos de un proceso novedoso, como lo muestra una hoja impresa sobre la que se derramó la tinta del ilustrador (Figura 4).

Figura 4. Imagen de hoja manchada (desastre al rubricar). Fuente: White, 2017: 139.

Esto es entendible si se piensa que la Biblia, a pesar de que era un objeto conocido, jamás se había impreso, lo que significaba que su "mercado" ni siquiera existía, y en un mundo regido por tradiciones conservadoras, la posibilidad de aceptación de lo nuevo era todo menos segura.

Sin embargo, tuvo un sorprendente recibimiento. Aenas Piccolomini, antes de ser mejor conocido por su nombre papal, Pío II, visitó los talleres de Gutenberg (de esto sí hay registros) y, además de quedar maravillado por lo que tenía frente a sus ojos ("un texto absolutamente libre de errores e impreso con extrema elegancia y precisión" y que pudo leer "sin dificultad y sin la ayuda de anteojos"), quiso obtener algún ejemplar para enviárselo al entonces cardenal Juan de Carvajal. A pesar del poder del personaje, el incipiente mercado editorial le había ganado la partida y los 158 o 180 ejemplares (el futuro pontífice menciona ambas cifras) ya estaban vendidos, un preludio de lo que sería nuestra impresión bajo demanda. No dispuso de ejemplares para el futuro papa, pero Gutenberg le había hecho llegar muestras al emperador, por lo que no podemos acusarlo de falta de perspicacia comercial.

UNA TINTA TAN NEGRA COMO LA NOCHE

Hacer tinta en la década de 1450 no era ninguna novedad a pesar del carácter arcano de su práctica, y se había usado profusamente desde hacía tres o cuatro mil años. Las había de polvo de carboncillo, metálicas, con hierro y taninos, e incluso provenientes de calamares o pulpos. Pero era necesario resolver aspectos prácticos, algo en lo que Gutenberg, ahora lo sabemos con claridad, fue excepcional.

No era lo mismo escribir o pintar sobre papiro o seda, incluso sobre el delgado papel chino, que hacerlo bajo la presión que ejerce una prensa. De hecho, un problema similar ya lo habían enfrentado los escribas cuando resultó que las antiguas tintas que servían para iluminar los papiros no se fijaban bien en el pergamino. En el caso de nuestro artesano, tenía que ser mucho más pegajosa, pero no tanto que dañara el papel al despegarlo de la presión impresora, ni tan líquida que se escurriera y llenara los huecos de, por ejemplo, las letras *o*, las *a* y las *e*. Como en el caso del papel, a las tintas de las B42 se les han aplicado todas las posibilidades disponibles. Para que las dudas se pudieran comenzar a disipar fue necesario echar mano, otra vez, del invento de ciencia ficción que venimos relatando, el sincrotrón.

Esta herramienta se ha usado en innumerables trabajos de asuntos que podríamos considerar "culturales" y no solo de astronomía o física interestelar, como la arqueología del genoma de nuestros antepasados neandertales, la forma de producción precisa de la porcelana Ming, falsificaciones como el mapa de Vinlandia y la llegada vikinga a América antes de Colón, entre otros.

El sincrotrón del laboratorio nuclear Crocker, en Davis, California, bombardeó durante cinco años a la B42 para exprimirle sus secretos. Sabemos que los impresores utilizaban tintas de aceite y negro de

humo, pero eso no le resultaba suficiente a nuestro herrero de Maguncia.

Los investigadores estadounidenses recuerdan que al poco tiempo de analizar por primera vez su tinta, descubrieron que es inusualmente rica en compuestos de plomo y cobre, una marca indiscutible de su autoría. Y es posible que la composición singular sea la razón de la brillantez y la negrura que conserva su impresión hasta hoy.

En el Medioevo, los escribas utilizaban tinta negra o pardusca. La tinta negra se hacía mezclando carbón vegetal o negro de lámpara con goma arábiga y cola. Para obtener tinta parda, trituraban las nueces de castaña para convertirlas en polvo y las disolvían en agua, después añadían sulfato ferroso (vitriolo verde) y goma arábiga a la solución para inducir una reacción química. Para ser adecuada para la impresión, la tinta tiene que adherirse fácilmente al tipo de metal y secarse rápidamente. Por este motivo se utilizaba barniz de aceite de linaza como solución, imitando las pinturas al óleo. Se ha descubierto que Gutenberg utilizaba tinta que contenía negro de humo y aceite de linaza, así como aceite de nuez, aceite de trementina, resina de pino, cinabrio y otras sustancias. La tinta se producía hirviendo estos materiales, pero la imprenta mantenía en secreto su método de fabricación (Martínez-Val, 2005).

LA FORMA SÓLIDA DE LA PALABRA

Veamos ahora cómo resolvió Gutenberg el tercer problema que enfrentó con la B42, el de la tipografía, y qué nos dicen las nuevas investigaciones.

La necesidad de ahorrar espacio se hace evidente en el uso de los tipos ideados por nuestro impresor, a pesar de los amplios márgenes que eran un estándar en los manuscritos que le sirvieron a Gutenberg de modelo. Para llevar a cabo la composición tipográfica de la B42 podía haber trabajado con dos lotes de 23 letras, mayúsculas y minúsculas, respectivamente. Pero para lograr la sorprendente alineación a la derecha de las líneas, un tema que consumió buena parte de la atención de los tipógrafos en el taller del maguntino, era necesario unir las distintas letras entre sí.

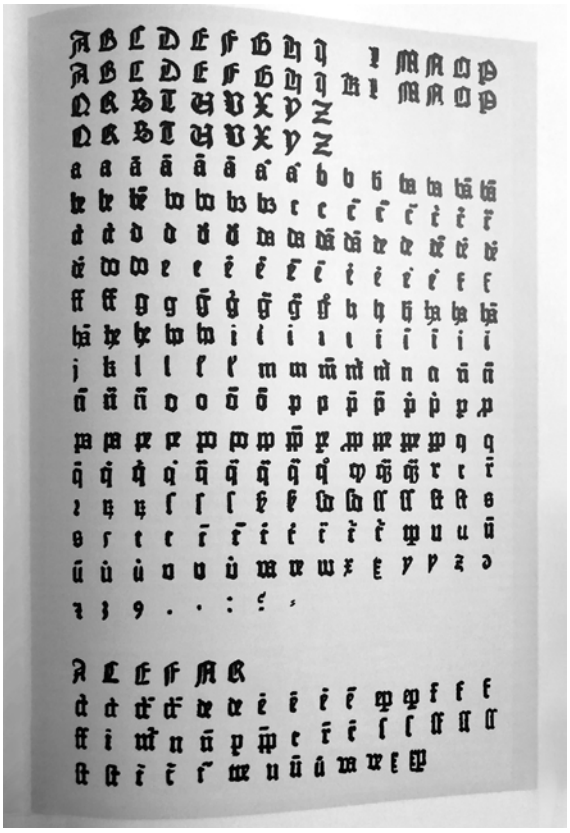


Figura 5. Una muestra de los tipos móviles usados por Gutenberg. Füssel, 2018: 41.

Por ello se utilizaron 290 tipos distintos, 47 mayúsculas y 243 minúsculas en distintas variantes, más anchas o estrechas, así como diversos signos de puntuación. El ahorro de las mayúsculas es notorio al no usarlas, incluso, en nombres sagrados. Y las mayúsculas más usadas (C, E, N, R) presentan ligeras variaciones, lo que significa que se retocaron en distintas ocasiones (Füssel, 2018: 42).

Hasta finales del siglo pasado la narrativa se había establecido sin duda en este ámbito transformador. Letras y signos individuales, caracteres o símbolos en relieve, invertidos para aparecer de forma adecuada después de la presión de la prensa sobre el papel, podían servir para imprimir incontables veces debido a la aleación con la que estaban compuestos: 83 % de plomo, 9 % de estaño, 6 % de antimonio y un 1 % de cobre o hierro (Füssel, 2005: 16).

Para sorpresa de muchos, a principios de este milenio, dos estudiosos, el bibliógrafo Paul Needham y

© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2013.

el físico Blaise Agüera y Arcas, a través del análisis de fotos digitales de alta resolución y programas de análisis matemáticos, compararon cada una de las letras usadas por Gutenberg y llegaron a la sorprendente conclusión de que, técnicamente hablando, los tipos utilizados en la Biblia de Gutenberg no eran móviles. De hecho, no hay en esta obra dos letras iguales.

Si se examina de cerca, cada letra tiene un aspecto ligeramente distinto (Figura 5). Esta variación sugiere que fue la arena y no el metal el medio en el que Gutenberg fundió por primera vez los tipos, lo que a su vez significa que las letras eran demasiado blandas para reutilizarlas en varios libros.

La monumental *Biblia de Gutenberg*, como han puesto al descubierto los resultados de búsqueda en archivos, luz de sincrotrón y matemáticas complejas, resultó el producto transformador de un genio que, como nos lo hizo saber John Man (2002: 227-228), debió igualar las obras de los escribas y superarlas en precisión sin que la revolución que estaba llevando a cabo resultara evidente, porque de otra forma, en un mundo profundamente encerrado en sus convicciones, nadie la compraría.

Aunque resulte increíble, más de medio milenio después de producida, sigue maravillándonos no solo por lo que vemos en sus páginas, sino por aquello que ha estado escondido a plena vista.

REFERENCIAS

Avrin L (1991). *Scribes, script and books. The book arts from Antiquity to the Renaissance*. American Library Asocciation, The British Library.

Agüera y Arcas B (2003). Temporary Matrices and Elemental Punches in Gutenberg's DK type. En Jensen K (ed.), *Incunabula and Their Readers. Printing, Selling, and Using Books in the Fifteenth Century*. Londres: British Library.

Füssel S (2005). *Gutenberg and the impact of print* (trad. Douglas Martin). Ashgate.

Füssel S (2018). *La Biblia de Gutenberg de 1554*. Taschen.

Gómez Morón A, Santos Navarrete M, Campoy Naranjo M y Polvorinos del Río Á (2015). Caracterización del papel y las tintas de la Biblia de Gutenberg de la Universidad de Sevilla. *Actas del XI Congreso Nacional de Historia del Papel en España* (pp. 499-512). Asociación Hispánica de Historiadores del Papel. Archivo General de Indias.

Jarvis J (2023). *The Gutenberg Parenthesis: The Age of Print and Its Lessons for the Age of the Internet*. Bloomsbury Academic.

Man J (2002). *The Gutenberg Revolution. The story of a genius and an invention that changed the world*. Headline Review.

Martínez-Val J (2005). *Gutenberg y las tecnologías del arte de imprimir*. España: Fundación Iberdrola.

Tsien T-H (1985). *Paper and printing* (part I). En Needham J., Science and civilisation in China. Vol. 5. Chemistry and chemical technology. Cambridge University Press.

White EM (2017). *Editio Princeps: A History of the Gutenberg Bible*. Harvey Miller Publishers.

Raúl Marcó del Pont Lalli
Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México
edito@geografia.unam.mx

www.elementos.buap.mx

Impresión 3D:
transformando el futuro

Ismael **Mendoza Muñoz**

La impresión 3D, también conocida como manufactura aditiva debido a su proceso de añadir capa por capa de material, se vale de varias tecnologías de fabricación, ocho en total. Entre las más populares y de fácil acceso para los usuarios domésticos se encuentran la deposición de material fundido (*Fused Deposition Modeling*, FDM) y la estereolitografía (*Stereolithography*, SLA) (Dimitrov *et al*., 2006).

Podemos pensar en la tecnología FDM como una especie de sofisticada "pistola de pegamento" en la que, a través de una boquilla, se derrite un filamento termoplástico. Este material fundido se coloca capa por capa sobre una cama o base, creando así el objeto deseado.

Por otro lado, la estereolitografía sigue el mismo principio de añadir capa por capa, pero utiliza una resina líquida que se solidifica, o "cura", mediante un haz láser. Aquí, podemos identificar al menos dos diferencias fundamentales: el material utilizado (filamento termoplástico o resina) y el proceso de transformación (fundir o curar).

Estas tecnologías de impresión 3D ofrecen una variedad de opciones para crear objetos tridimensionales de manera precisa y personalizada.

La elección entre ellas depende de las necesidades y preferencias individuales, lo que hace que la impresión 3D sea una herramienta emocionante y accesible para una amplia gama de aplicaciones.

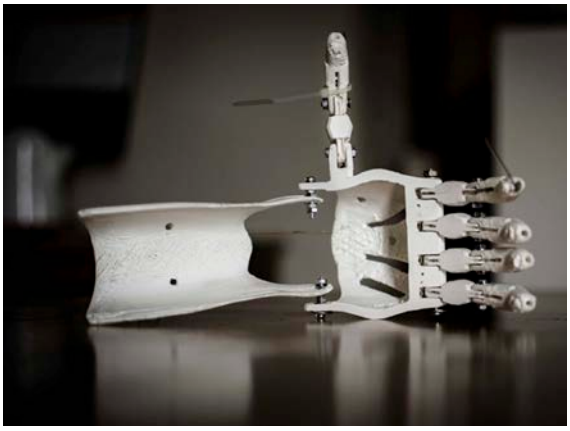


Figura 1. Prótesis de mano impresa y ensamblada en 3D. Fuente: https://pixabay.com.

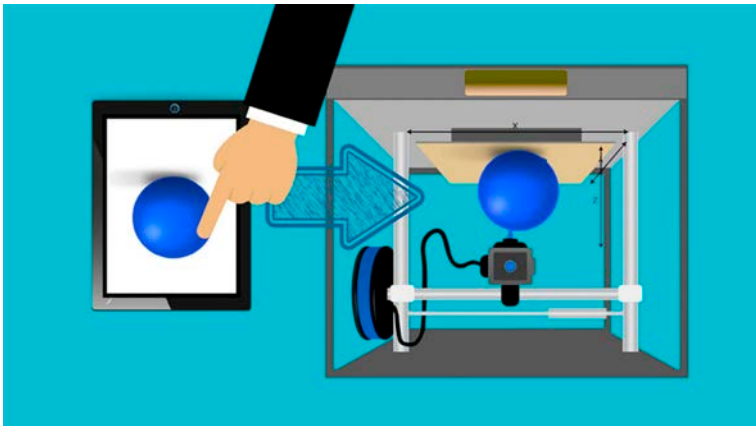


Figura 2. Diseño tridimensional enviado a una impresora FDM. Fuente: https://pixabay.com.

GUÍA DE IMPRESIÓN 3D PARA PRINCIPIANTES

Comencemos por comprender de manera sencilla cómo se fabrican piezas utilizando la impresión 3D. El primer paso consiste en decidir qué objeto deseas crear, ya que se pueden fabricar desde juguetes personalizados hasta prótesis médicas (Figura 1).

Una vez que hemos decidido qué objeto queremos fabricar, es esencial contar con un diseño tridimensional del mismo. La creación de un diseño requiere conocimientos técnicos en programas de dibujo asistido por computadora (CAD). Sin embargo, hoy en día podemos omitir este requisito gracias a numerosos repositorios en línea donde los diseñadores comparten sus creaciones, disponibles tanto de manera gratuita como para su compra.

Al contar con un diseño tridimensional del objeto, es necesario convertirlo a un formato de programación que la impresora 3D pueda entender y ejecutar (Figura 2). Aunque este proceso puede sonar complejo, en realidad es bastante sencillo gracias al software proporcionado por el fabricante de la impresora 3D. Utilizar este software es tan intuitivo como imprimir un documento en una impresora de tinta. En el software, al utilizar la vista para principiantes, simplemente seleccionamos el tipo de material de impresión y la calidad de impresión (que determina la altura de las capas) antes de hacer clic en “imprimir”.

SUSTENTABILIDAD Y CREATIVIDAD

La impresión 3D es una tecnología fascinante que ha revolucionado la forma en que fabricamos objetos tridimensionales. Sin embargo, su impacto va mucho más allá de la mera innovación tecnológica. Esta tecnología no solo permite la creación de objetos de manera eficiente y precisa, sino que también aporta significativamente a la sustentabilidad.

Antes de profundizar en cómo la impresión 3D influye en la sustentabilidad, es esencial comprender su significado. La sustentabilidad implica satisfacer las necesidades actuales sin perjudicar a las futuras generaciones, promoviendo prácticas responsables en el uso de recursos naturales. En cuanto a la manufactura sustentable, se centra en la integración de factores sociales, ambientales y económicos en la producción responsable (Qureshi *et al*., 2015). La impresión 3D, como tecnología innovadora, desempeña un papel clave en la promoción de la sustentabilidad en la manufactura. A continuación, exploraremos su impacto en la economía, el medio ambiente y la sociedad.

Al compararla con los procesos de fabricación tradicionales, como la manufactura sustractiva, nos encontramos con un desafío importante: la generación de residuos. En la manufactura sustractiva se elimina material para dar forma a un producto, como en el maquinado, lo que genera desechos que impactan negativamente en el medio ambiente y los recursos naturales (Fico *et al*., 2022).

Por otro lado, la impresión 3D utiliza solo la cantidad necesaria de material para crear el producto deseado. Esta diferencia en enfoque y técnica ayuda a reducir los residuos y fomenta prácticas más amigables con el entorno, convirtiendo a la impresión 3D en una opción más sustentable (Ruiz *et al.,* 2022).

Imagina un mundo donde los productos no se fabrican en grandes cantidades ni se almacenan en exceso, sino que se crean de manera personalizada y precisa mediante la impresión 3D, justo cuando se necesitan. Esto no solo reduciría significativamente la cantidad de productos no utilizados y, por lo tanto, la generación de residuos, sino que también tendría un impacto positivo en la economía, ya que los datos muestran que el enfoque de la impresión 3D en la cadena de suministro podría ser hasta un 61 % más económico en comparación con el modelo tradicional.

Desde una perspectiva medioambiental, la tecnología de impresión 3D tiene el potencial de reducir significativamente las emisiones de carbono y el uso de energía en la fabricación industrial. Según un estudio reciente (Shahpasand *et al.*, 2023), se estima que la impresión 3D podría disminuir las emisiones de carbono en un 9 % a 10 %. Además, se ha sugerido que para el año 2025 la impresión 3D podría contribuir a una reducción del 5 % en el consumo de energía y emisiones de CO_2 (Gebler *et al*., 2014). El impacto real de esta tecnología en la reducción de emisiones dependerá de cuánto se use en la producción de bienes de consumo. Aunque su eficiencia y potencial sugieren un futuro de producción más limpia y sustentable.

Además, la impresión 3D impulsa la tendencia hacia la producción local y personalizada, fomentando la cultura del "hágalo usted mismo". Los consumidores pueden participar activamente en el proceso de fabricación, y esto ha llevado a la formación de emprendimientos locales, lo que a su vez reduce los tiempos de espera para productos personalizados (Rayna y Striukova, 2020). Esta tendencia no solo beneficia la economía local, sino que también fortalece la conexión entre los creadores y los consumidores, promoviendo un sentido de comunidad y colaboración.

ELEGIR LA IMPRESORA 3D CORRECTA: CRITERIOS SUSTENTABLES

Si eres una persona creativa o simplemente te encanta la idea de tener objetos únicos, la impresión 3D es una tecnología atractiva y accesible que te está esperando.

Imagina la posibilidad de dar vida a tus propios diseños y crear objetos personalizados que reflejen tu estilo y necesidades.

La impresión 3D te brinda la libertad de convertir tus ideas en realidad. Y cuando decidas adquirir una impresora 3D, es importante tener en cuenta criterios sustentables que te ayudarán a tomar una decisión informada. Veamos cómo estos criterios se aplican a las dos tecnologías de impresión 3D ya mencionadas.

Costo. Las impresoras FDM son más asequibles tanto en costo de equipo como en material, mientras que las impresoras SLA tienden a ser más caras.

Tiempo. La fabricación de piezas con tecnología FDM puede ser más lenta, especialmente en proyectos grandes, mientras que la SLA es más rápida.

Calidad. La calidad de impresión en FDM puede ser excelente, pero pueden aparecer líneas de capas visibles, mientras que la SLA se destaca por producir objetos sin la aparición de dichas líneas (Wu y Chen, 2018).

Energía. Ambas tecnologías pueden estar a la par, lo que las hace relativamente eficientes desde un punto de vista energético.

Residuos. Algunas piezas fabricadas con impresora FDM a veces requieren soportes que generan residuos, mientras que con SLA se producen menos residuos y se necesita menor posprocesamiento.

Flexibilidad. En comparación con la tecnología SLA, la FDM tiene limitaciones en la flexibilidad de diseño. SLA permite la creación de piezas con formas extremadamente complejas.

Ruido. La impresora FDM tiende a ser más ruidosa, en comparación con la SLA, debido al uso de motores de paso.

CONCLUSIONES

La impresión 3D está transformando de raíz la manera en que creamos y consumimos productos, al mismo tiempo que impulsa la sustentabilidad. Esta tecnología nos brinda la libertad de fabricar objetos personalizados y únicos, reduciendo drásticamente la producción de residuos innecesarios, propiciando un mundo más responsable con el medio ambiente.

REFERENCIAS

Dimitrov D, Schreve K and Beer N. (2006). Advances in three dimensional printing –state of the art and future perspectives. *Rapid Prototyping Journal* 12:136-147. https://doi.org/10.1108/13552540610670717.

Fico D, Rizzo D, Carolis V, Montagna F and Corcione C (2022). Sustainable Polymer Composites Manufacturing through 3D Printing Technologies by Using Recycled Polymer and Filler. *Polymers* 14. https://doi.org/10.3390/polym14183756.

Gebler M, Schoot Uiterkamp AJM and Visser C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy* 74:158–167. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.033.

Rayna T and Striukova L (2020). Assessing the effect of 3D printing technologies on entrepreneurship: An exploratory study. *Technological Forecasting and Social Change* 120483. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120483.

Ruiz L, Pinho A and Resende D (2022). 3D Printing as a Disruptive Technology for the Circular Economy of Plastic Components of End-of-Life Vehicles: A Systematic Review. *Sustainability*. https://doi.org/10.3390/su142013256.

Qureshi M, Rasli A, Jusoh A and Kowang T. (2015). Sustainability: a new manufacturing paradigm. *Jurnal Teknologi Sciences and Engineering* 77(22):47-53. https://doi.org/10.11113/JT.V77.6661.

Shahpasand R, Talebian A and Mishra S (2023). Investigating environmental and economic impacts of the 3D printing technology on supply chains: The case of tire production. *Journal of Cleaner Production* 390:135917. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135917.

Wu H and Chen T (2018). Quality control issues in 3D-printing manufacturing: a review. *Rapid Prototyping Journal* 24:607-614. https://doi.org/10.1108/RPJ-02-2017-0031.

Ismael Mendoza Muñoz
Facultad de Ingeniería Mexicali
Universidad Autónoma de Baja California,
ismael.mendoza@uabc.edu.mx

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Tríptico, fotografía digital, 2019.

www.elementos.buap.mx

Celdas solares orgánicas

Rodrigo **Ramos Hernández**
Abraham **Méndez Albores**

Cuando se habla sobre la generación de energía eléctrica, probablemente la primera idea que nos llega a la cabeza es la de enormes presas hidráulicas con grandes caídas de agua o incluso grandes y humeantes centrales nucleares. Sin embargo, lo que la mayoría desconoce es que la manera más utilizada para generar energía eléctrica en México es a partir de procesos que usan gas, seguida del uso de otros combustibles fósiles. La generación hidroeléctrica se posiciona en el tercer lugar con una participación del 10.1 % de la producción total (Statista, 2023). Desde un punto de vista de cuidado del ambiente, el empleo de gas y de derivados fósiles es una mala solución, ya que ambos contribuyen al calentamiento global. Una manera de coadyuvar a la solución de esta problemática es emplear las llamadas fuentes de energía renovables, como son la generación eólica, la geotérmica y la solar. En esta última categoría se encuentran clasificadas las celdas solares.

LAS CELDAS SOLARES CONVENCIONALES Y SU FUNCIONAMIENTO

De manera general, una celda solar (o celda fotovoltaica) es un dispositivo que convierte la radiación solar en energía eléctrica. Sin embargo, para entender su funcionamiento, es necesaria una explicación un poco más detallada.

Los rayos o luz solar nos llegan en forma de radiación electromagnética; las partículas portadoras de esa energía

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 36. Díptico, fotografía digital, 2020.

son los fotones. Sin entrar a la física más pura, podemos imaginar a los fotones (el *cuanto* de luz) como el paquete más pequeño de radiación electromagnética. Ahora bien, cuando una celda solar se coloca bajo la incidencia de rayos solares, los fotones pueden reflejarse, atravesar, o absorberse en ella. El proceso más importante en una celda solar es la absorción de los fotones, y esto se logra utilizando un material semiconductor. Un semiconductor es un material que conduce parcialmente la corriente eléctrica; en esta tarea no es tan bueno como los conductores ni tan malo como los aislantes. Cuando el semiconductor en la celda solar absorbe un fotón, este es capaz de "arrancar" un electrón del material semiconductor, lo que deja un hueco en un átomo, hueco que posteriormente será cubierto por otro electrón arrancado por otro fotón. En general, este proceso es continuo y eso propicia el flujo de los electrones, mismos que pueden ser canalizados usando un material conductor para generar un circuito en que existe una diferencia de potencial y un flujo de corriente.

TIPOS DE CELDAS SOLARES

Las celdas solares pueden ser clasificadas por generaciones (Dambhare *et al.*, 2021), es decir, de acuerdo con su invención y desarrollo a lo largo de la historia. En la primera generación se empleó silicio cristalino en forma de obleas; debido a esto, el proceso de fabricación resultó demasiado costoso, aunque ello no limitó su uso: a la fecha, a nivel mundial, son las más empleadas.

En la segunda generación se empezaron a probar y a utilizar otros materiales semiconductores como seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS); también telururo de cadmio (CdTe), arseniuro de galio (GaAs) y silicio amorfo (a-Si:H). La principal desventaja de estas celdas solares es su baja eficiencia, alrededor del 20 %. La eficiencia en el campo de las celdas solares es la relación entre la energía que entra en forma de fotones y la energía que se produce.

La tercera generación es la que mejores resultados ha tenido en cuanto a la eficiencia, la cual puede alcanzar valores de hasta el 41 %. Esto es posible al utilizar diferentes formas de captar la mayor cantidad de fotones, como son el uso de una doble unión entre los materiales semiconductores, el empleo de tintes que consiguen que las celdas solares puedan funcionar con luz menos intensa, lo que las hace igual de eficientes en el transcurso del día. En esta tercera generación se encuentran las celdas solares orgánicas. Estas celdas, tal y como se puede inferir, están formadas por semiconductores orgánicos; es decir, de materiales a base de carbono.

LOS SEMICONDUCTORES ORGÁNICOS

Antes de profundizar en las celdas solares orgánicas, veamos qué son los semiconductores orgánicos.

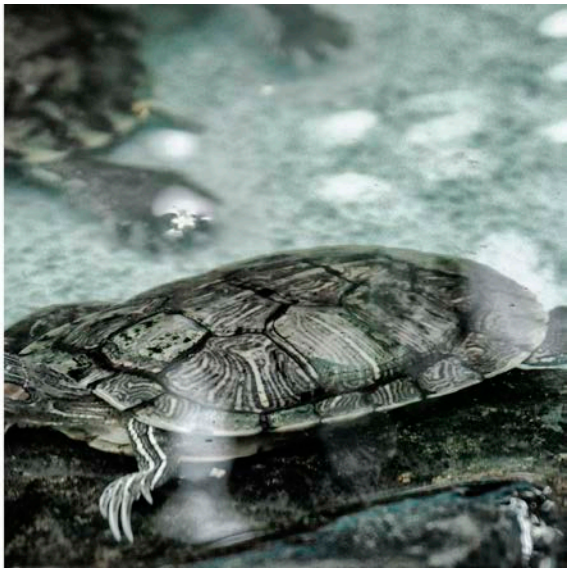
Los semiconductores orgánicos están conformados principalmente por átomos de carbono. Una característica importante de estos materiales es que en su estructura química presentan una alternancia entre enlaces dobles y sencillos llamada conjugación; esta característica es la que permite a tales materiales el poder conducir la electricidad.

Los semiconductores orgánicos se clasifican en polímeros y en compuestos de bajo peso molecular. Un polímero es un material conformado por una cadena larga de unidades químicas llamadas monómeros, las cuales están unidas entre sí. Por otra parte, los compuestos de bajo peso molecular son moléculas relativamente pequeñas, formadas por varios átomos.

Ahora bien, al comparar los semiconductores orgánicos con los inorgánicos, los primeros son relativamente fáciles de sintetizar, presentan flexibilidad en términos mecánicos (es decir, se pueden doblar), son solubles en diferentes disolventes, además de que sus propiedades ópticas y eléctricas pueden cambiarse de manera relativamente fácil al modificar (agregando o quitando grupos funcionales) su estructura química. Las propiedades de estos materiales los hacen adecuados para ser usados en los procesos de fabricación en serie, ya que permiten obtener grandes áreas recubiertas, incluso pueden ser depositados sobre sustratos flexibles.

CELDAS SOLARES ORGÁNICAS

En su estructura más simple, las celdas solares orgánicas están conformadas por películas delgadas de diferentes materiales depositadas entre dos electrodos: un ánodo y un cátodo. A continuación describiremos sus partes.El sustrato sobre el cual se depositan las películas subsecuentes debe ser transparente (para facilitar la absorción de los fotones). Generalmente, se utiliza vidrio, pero si se requiere de un dispositivo flexible, se puede usar el tereftalato de polietileno (PET). El ánodo suele consistir en una película de óxido de indio y estaño (ITO) depositada sobre el sustrato. Una capa transportadora de huecos (HTL, por sus siglas en inglés) tiene como función mejorar la conducción de los huecos que se generan al quitar un electrón al átomo. El material más usado como HTL es el poli (3,4-etilendioxitiofeno)-poli(estireno sulfonato), el cual se deposita en forma de una película transparente. La capa fotoactiva consiste en una película de semiconductor orgánico, ya sea polímero, compuesto de bajo peso



© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 25. Díptico, fotografía digital, 2019.

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 11. Díptico, fotografía digital, 2020.

molecular o una mezcla de ambos.El cátodo suele ser fabricado con una película de unos 50 nanómetros de algún metal como aluminio, plata u oro.

En general, cualquier celda solar que emplee un material semiconductor orgánico de capa fotoactiva se puede considerar como orgánica. En general, los semiconductores orgánicos poseen diferentes propiedades mecánicas, ópticas y eléctricas que abren nuevos horizontes en la fabricación de celdas solares. Debido a esto, las celdas solares orgánicas podrían ser utilizadas en nichos muy específicos donde, debido a ciertas limitaciones, las celdas convencionales de silicio se verían comprometidas. A nivel mundial, los científicos trabajan en el desarrollo de celdas solares que puedan ser utilizadas en las ventanas (Pascual *et al*., 2020) y los tejados (Lu *et al.,* 2020).

CONCLUSIÓN

La investigación y el desarrollo en el campo de las celdas solares orgánicas ha permitido incrementar su eficiencia de manera considerable en los últimos años. Esta es una señal de lo promisorio que resulta esta fuente de generación de energía que podría sustituir en un futuro cercano a los combustibles fósiles. Si bien hoy día se están llevando a cabo varias investigaciones a nivel mundial en el área de las celdas solares orgánicas, aún pasarán varios años antes de que esta tecnología resulte comercialmente viable y por fin se vea el paso de los prototipos de laboratorio a toda una industria de consumo. Probablemente, en un futuro, se usen las celdas solares orgánicas en los techos de los complejos residenciales, en los parabrisas de los autos y del transporte público, e incluso, en las ventanas de los hogares, todo esto para generar energía mientras vivimos el día a día colaborando a la tan anhelada sostenibilidad energética.

REFERENCIAS

Dambhare MV, Butey B and Moharil SV (2021). Solar photovoltaic technology: A review of different types of solar cells and its future trends. *Journal of Physics: Conference Series* 1913(1):012053).

Lu L and Ya'acob ME (2020). Application of organic photovoltaic materials (OPV) as greenhouse roof structures: A review. *Journal of Agricultural and Food Engineering* 3:0019.

Statista (2023). Power production breakdown in Mexico 2022, by Source. Recuperado de https://www.statista.com/statistics/1237496/mexico-distribution-of-electricity-production-by-source/.

Pascual-San-José E, Sadoughi G, Lucera L *et al.* (2020). Towards photovoltaic windows: scalable fabrication of semitransparent modules based on non-fullerene acceptors via laser-patterning. *Journal of Materials Chemistry A* 8(19):9882-9895.

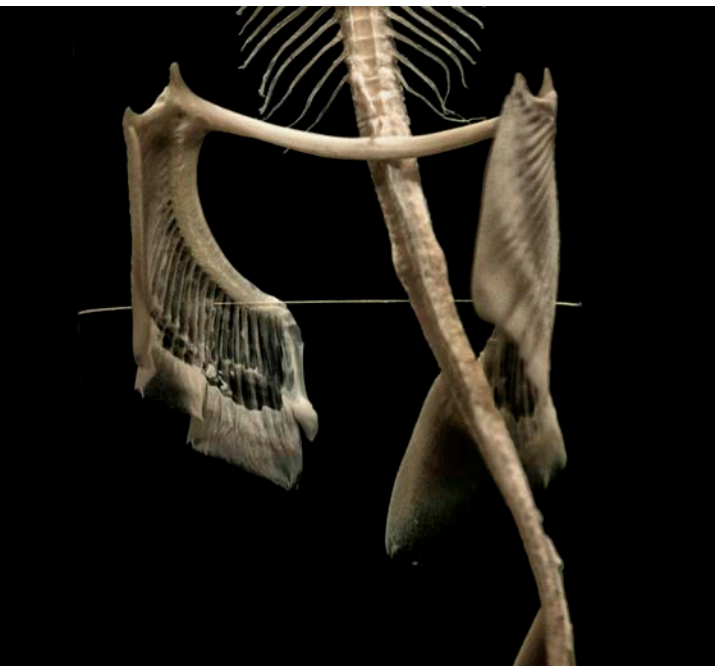
Rodrigo Ramos Hernández
Abraham Méndez Albores
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán
Universidad Nacional Autónoma de México
ramos.rodrigo.hernandez@gmail.com

www.elementos.buap.mx

El concepto de creatividad en la filosofía de la praxis de Adolfo Sánchez Vázquez

Iver A. **Beltrán García**

¿Qué es la creatividad? El presente artículo ofrece una respuesta a este planteamiento: creatividad es la negociación o el ajuste que el agente humano debe operar sobre sus fines proyectados y sus ideas, para poder realizarlos superando las exigencias de sus medios o instrumentos y la resistencia de su objeto. El objetivo consiste en explicar el origen de esa concepción, así como el proceso que le dio su forma final. Para ello se utilizan dos métodos: el analógico y el dialéctico. El punto de partida es la concepción elaborada por el filósofo marxista Adolfo Sánchez Vázquez. Sin embargo, esa concepción limita el fenómeno de la creatividad al ámbito de la actividad práctica y deja sin explicar en detalle la estructura interna de carácter dialéctico que presenta ese fenómeno. Por ello es que se utiliza el método analógico, que permite aplicar dicha conceptualización también a la actividad teórica, y el método dialéctico, gracias al cual es posible describir la estructura y la dinámica interna de la creatividad. Este artículo ofrece la oportunidad de conocer las ideas esenciales de este filósofo en torno al fenómeno creativo en general, y desarrolla esas ideas para proponer un concepto de creatividad con mayor capacidad descriptiva y detalle. En la primera sección se expone el análisis de Sánchez Vázquez; en la segunda, ese análisis será desplegado analógica y dialécticamente.



© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2019.

EL PLANTEAMIENTO DE SÁNCHEZ VÁZQUEZ

En su libro *Filosofía de la praxis*, capítulo 5, Adolfo Sánchez Vázquez distingue la actividad humana y la no humana, así como la actividad práctica y la no práctica. A la actividad práctica la llama "praxis" (Cfr. Sánchez Vázquez, 2003a, pp. 263-285; *vid*. Beltrán, 2017a).[1] Pues bien, la creatividad es estudiada por él como un rasgo de la praxis así entendida. Para comprender adecuadamente tal concepción, es necesario encuadrarla en su análisis de la praxis en general.

De acuerdo con este filósofo, la actividad, en su sentido más general, se define como "el acto o conjunto de actos en virtud de los cuales un sujeto activo (agente) modifica una materia prima dada" (*ibid*., p. 263). En esta definición no se especifica el tipo de agente, el tipo de materia prima, o el tipo de actos, de modo que el agente, la materia prima y los actos pueden ser físicos, biológicos, psíquicos o sociales. El agente se entiende como un sujeto que actúa efectivamente y no solo que puede llegar a hacerlo en algún momento; y la actividad, como un todo en el que los actos del agente se articulan para modificar la materia prima. Tal modificación se traduce en el resultado o producto.

Lo que distingue a la actividad humana de la no humana es la intencionalidad o adecuación a fines:

> La actividad propiamente humana solo se da cuando los actos dirigidos a un objeto para transformarlo se inician con un resultado ideal, o fin, y terminan con un resultado o producto efectivos, reales (*ibid*., p. 264).

El resultado o producto existe dos veces: una vez de manera ideal, en la conciencia del sujeto, y otra vez de manera real, después de la actividad efectiva; pero, por supuesto, el resultado o producto real puede presentar variantes respecto al fin planificado idealmente.

El fin que dirige la actividad humana posee tres características. En primer lugar, expresa la actitud del sujeto ante la realidad. Si el sujeto se propone transformar la realidad, es porque no hay armonía entre esta y sus necesidades e intereses. En segundo lugar, el fin constituye un principio de unidad, interioridad y totalidad respecto a los actos, los medios o instrumentos, y los resultados o productos. En efecto, gracias al fin, los actos, los medios y los resultados no están separados, sino que se articulan y forman una unidad. Esa unidad tiene una exterioridad (otras unidades, es decir, otras actividades humanas con sus propios actos, medios y resultados), así como una interioridad, conformada, precisamente, por los actos, los medios y los resultados. Y por último, los actos, medios y resultados son partes de la unidad que, por tanto, ha de ser pensada al mismo tiempo como totalidad. En tercer lugar, el fin enlaza la actividad cognoscitiva con la actividad práctica. El conocimiento que el humano tiene del mundo se pone al servicio de la transformación o conservación de este, a través de un conjunto de fines que, a su vez, expresan las necesidades y los intereses del sujeto.

Cabe aclarar que la actividad cognoscitiva o producción de conocimiento, junto con la actividad teleológica o producción de fines, son formas

© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2019.

de actividad teórica. Esta, la actividad teórica, no implica necesariamente la conservación o transformación de objetos ajenos a la conciencia, sino que se limita al trabajo de la conciencia sobre fines e ideas.

En este marco, la actividad práctica, o simplemente praxis, tiene como rasgo específico su materialidad; es decir, su autonomía de la conciencia, por cuanto ella misma es material en el modo de lo corpóreo o físico, de la misma manera que su objeto, sus medios o instrumentos y su resultado o producto son también físicos o materiales.

En el capítulo 7 del mismo libro, Sánchez Vázquez hace la diferenciación, en el seno de la praxis, entre la praxis creadora y la praxis reiterativa (cfr., *ibid*., pp. 286-317). Los rasgos que distinguen a la praxis creadora son: la unidad de lo subjetivo y lo objetivo, la imprevisibilidad del proceso y del resultado, y la unicidad e irrepetibilidad del producto.

La unidad de lo subjetivo y lo objetivo se refiere a que el fin planteado idealmente por la conciencia, al tratar de ser realizado por la actividad práctica, debe enfrentarse específicamente a dos obstáculos: las exigencias de los medios o instrumentos y la resistencia del objeto material.

Es decir, el objeto, a partir de sus características propias, ofrece una resistencia a la actividad del agente, y no permite que el fin se realice exactamente como fue planteado, sino que impone determinadas modificaciones.

De la misma manera, los medios o instrumentos no permiten cualquier modificación del objeto, sino que, también debido a sus características particulares, presentan cierto alcance y ciertas limitaciones. Por vía de ejemplo, imaginemos a un escultor: aunque su imaginación sea poderosa, las herramientas que utiliza y el material que le sirve de objeto solo le permitirán ciertas posibilidades. Más allá de esas posibilidades, las herramientas llegan a dañarse, el material se rompe. Las herramientas tienen, pues, unas exigencias, y el material presenta una resistencia.

La unidad de lo subjetivo y lo objetivo no consiste, en el caso de la praxis creadora, en una duplicación del fin ideal en el resultado material, sino en ese proceso de adaptación del fin a las posibilidades y las limitaciones de los medios y del objeto. La consecuencia es que el proceso se vuelve imprevisible

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2019.

y que el resultado o producto adquiere un carácter de unicidad e irrepetibilidad. La imprevisibilidad del proceso remite a que este incluye descubrimientos inesperados y decisiones circunstanciales; y la unicidad e irrepetibilidad del resultado, a que un nuevo proceso de producción, con sus propios descubrimientos y decisiones circunstanciales, conducirá a un resultado diferente.

El producto no es único e irrepetible porque no pueda ser reproducido en serie, sino porque en la praxis creadora la imprevisibilidad del proceso implica la elaboración de un producto con características distintas cada vez. La reproducción en serie, en contraste, es una forma de praxis reiterativa, en la que, primero, no hay unidad de lo subjetivo y lo objetivo y, por tanto, el fin ideal se duplica fielmente en el producto material; segundo, el proceso sí es previsible, planificado y ejecutado conforme a la planificación; y tercero, el producto es uno de tantos, repetido, común.

Hasta aquí se ha encuadrado y detallado el análisis de Adolfo Sánchez Vázquez. Ahora es posible ir más allá del planteamiento de este filósofo.

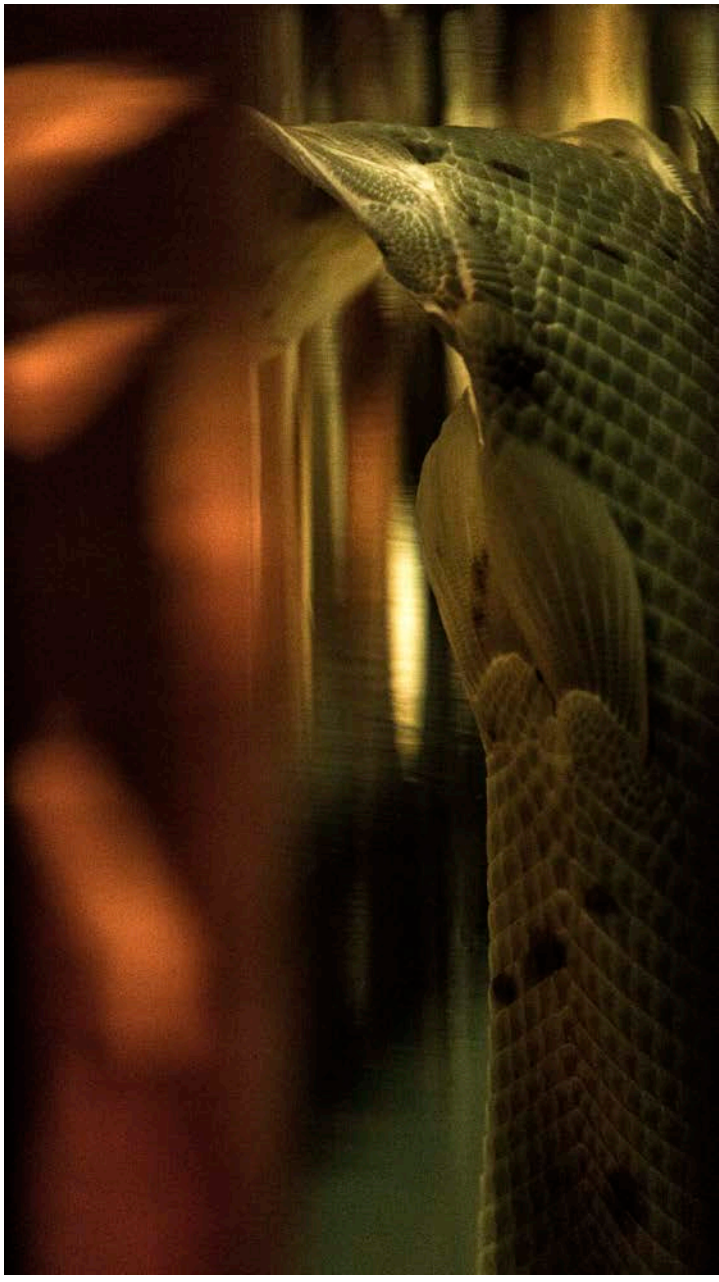
CREATIVIDAD: GENERALIZACIÓN Y ESTRUCTURA INTERNA

Una limitación de la forma en la que Sánchez Vázquez estudia el fenómeno de la creatividad es que la reduce al ámbito de la praxis o actividad práctica.[2] Pero la creatividad es claramente una característica de la actividad humana en general, práctica o no práctica. Para aumentar el alcance descriptivo de la concepción que este filósofo ofrece de la creatividad, se debe generalizar su concepción de la praxis creadora a toda actividad humana y no limitarla a la actividad práctica. Ahora bien, recuérdese que, en el análisis de Sánchez Vázquez, junto a la actividad práctica se tiene la actividad teórica, y que esta última presenta dos tipos o formas: la actividad cognoscitiva y la actividad teleológica, es decir, la producción de conocimientos y la elaboración de fines. Y ambos tipos o formas de actividad teórica pueden adoptar, por analogía, las características que Sánchez Vázquez encuentra en la actividad práctica.

Nótese de manera especial que se trata de un procedimiento analógico. Tal procedimiento consiste, en primer lugar, en reconocer semejanzas profundas entre dos objetos o procesos, y en segundo lugar, en identificar las diferencias que limitan el alcance

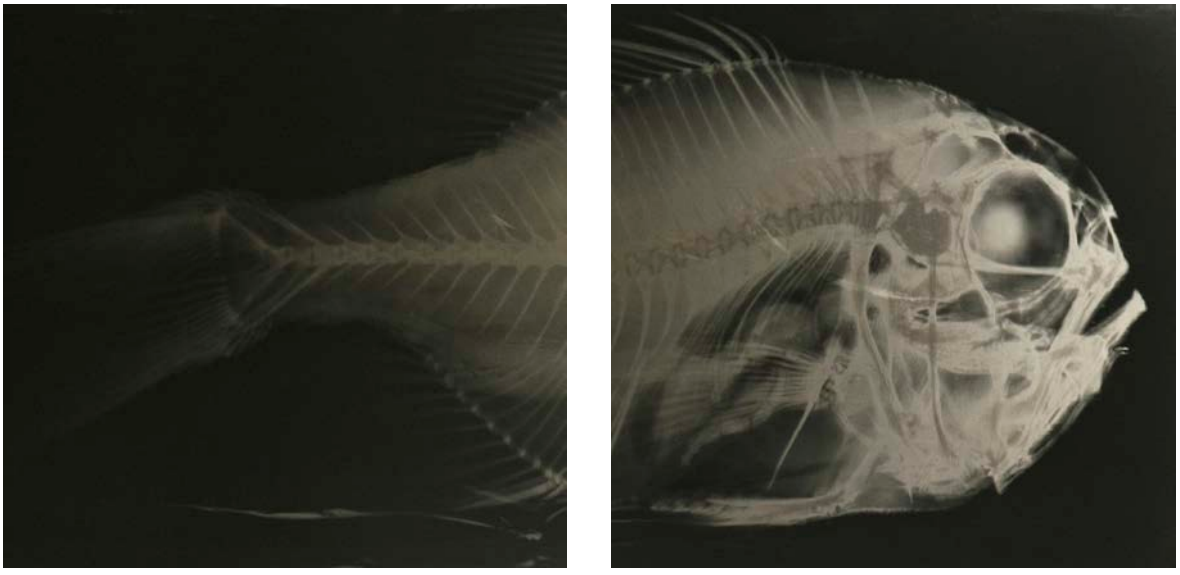
de esas semejanzas. De esta manera, el concepto que sirve inicialmente para definir a un objeto puede ser aplicado a otro objeto, sin por ello soslayar la información relevante que restringe la validez de tal operación. Las herramientas materiales tienen determinadas exigencias: requieren una cierta fuerza, rapidez o habilidad, son adecuados para unas tareas y no para otras, plantean límites de durabilidad y de estado óptimo, etcétera. De la misma manera, analógicamente, los métodos y las técnicas, los esquemas conceptuales y los enfoques que ejemplifican herramientas en el ámbito de la actividad teleológica y de la actividad cognoscitiva, poseen exigencias: capacidad descriptiva, explicativa o de fundamentación, relevancia y pertinencia para unos temas y no para otros; vigencia, adaptabilidad y así sucesivamente. Asimismo, si los objetos materiales oponen resistencia a partir de sus características particulares, también los objetos teóricos presentan una resistencia que les es propia. La relación entre el diámetro y la circunferencia no puede ser un número entero; un concepto no puede, al mismo tiempo y en el mismo sentido, tener más extensión e intensión que otro; una proposición solo puede ser o verdadera o falsa, pero no ambas cosas a la vez; racionalmente no hay medios sin fin, ni fin sin principios, por mencionar algunos ejemplos.

Sin embargo, como bien observa Luis Villoro (1989, pp. 257-259), la analogía entre la actividad práctica y la actividad teórica tiene sus límites. Específicamente, las ideas, los fines, los métodos, las técnicas, al igual que otros objetos mentales, no deben ser concebidos como "cosas" en el sentido material del término, no solo por carecer de materialidad, sino también porque su resistencia y sus exigencias tienen carácter lógico-necesario y no factual-contingente. Por ejemplo: la intensión y la extensión de un concepto guardan entre sí necesariamente una relación inversa, y esa relación no puede cambiar sin sustituir su definición; mientras que, en contraste, las características de un cincel o de un bloque de mármol pueden variar en un rango amplio sin que el cincel o el mármol dejen de ser lo que son, cincel o mármol.[3] Sin perder de vista, pues, el límite de la analogía, puede afirmarse



© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2019.

que, cuando el agente realiza una actividad teórica, cuando se plantea un fin relativo a la producción de conocimiento o de otros fines (fundamentar una teoría, derivar las consecuencias de una idea, interpretar un texto, planificar un curso de acción, coordinar dos proyectos, etc.), se ve forzado a enfrentar las exigencias de sus medios o instrumentos y la resistencia de sus objetos. Y, por tanto,



© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Díptico, fotografía digital, 2019.

puede realizar esa actividad mediante la unidad de lo subjetivo y lo objetivo, es decir, negociando su objetivo con las exigencias de los medios y la resistencia de los objetos, modificando y adaptando el objetivo o, por el contrario, ejecutarla al margen de tal unidad, duplicando fielmente el objetivo en el resultado. Ejemplo de lo primero es la interpretación de un texto, en la que no cualquier interpretación se ajusta a las posibilidades del texto; ejemplo de lo segundo, la invención de una historia, donde las posibilidades son prácticamente ilimitadas.

En la actividad teórica el proceso de realización de los fines planteado puede ser imprevisible o planificado, de la misma manera que el producto puede ofrecerse como único e irrepetible, o como repetido y común. Así como existe una praxis creadora y una praxis reiterativa, también existe una actividad teórica creadora o reiterativa. Y si esto es así, la creatividad, tal como fue explicada por Sánchez Vázquez, pero ampliada analógicamente, puede considerarse como rasgo de la actividad humana en general, y no solo de la actividad práctica o praxis.

Así es como queda superada la primera limitación en la forma en que Sánchez Vázquez define la creatividad. La segunda limitación se refiere a que, en su análisis, Sánchez Vázquez no desenvuelve la estructura dialéctica de la creatividad. Como filósofo marxista, describe la creatividad en términos materiales y dinámicos, pero no se detiene a exponer su estructura de oposiciones, superaciones y niveles de complejidad.

La dialéctica puede ser entendida como el orden que relaciona los objetos entre sí, un orden tal que plantea, en primer lugar, oposiciones entre ellos, y en segundo lugar, un movimiento de superación de las mismas que las traslada de un nivel de complejidad inferior a otro superior; de tal modo que el movimiento está siempre abierto a prolongarse, y los niveles se ordenan entre sí en el sentido de su complejidad: cada nivel es sucedido por otro de mayor complejidad.[4] Este orden dialéctico, a diferencia del hegeliano (*vid*. Beuchot, 2016, pp. 48-59), no debe entenderse como estructura y dinámica necesarias de la realidad, sino con carácter contingente, de manera que puede presentarse o no presentarse en los estados reales de cosas. Su sentido no es, pues, ontológico, sino metodológico o estratégico-práctico; metodológico en la actividad teórica, como una forma entre otras de dar sentido y ordenar los datos de la experiencia, y estratégico-práctico en la actividad práctica, como un recurso entre otros para transformar la realidad natural o social.

La dialéctica, así entendida, podemos utilizarla para describir la forma en la que se desenvuelve la actividad creadora, independientemente de si es teórica o práctica.

Para comenzar, el fin que se plantea el agente puede ser descrito en términos dialécticos como una afirmación. Las exigencias de los medios y la resistencia del objeto, a su vez, representan la negación de esa afirmación. Y la superación de la oposición se encuentra en la adaptación o el ajuste que el agente debe plantear entre su fin y las características del resultado o producto. Así pues, el fin, en tanto afirmación, no se impone, no se duplica en el resultado; pero tampoco las exigencias de los medios y la resistencia del objeto eliminan o disuelven el fin original; el fin se realiza y se cumple en el resultado, pero no en su forma original, sino con modificaciones y variantes.

Hay que destacar el hecho de que el producto mismo, como superación de la afirmación y la negación, incluye a estas, las retoma o subsume, pues, por una parte, toma algo del fin original y, por otra parte, se ajusta o adapta a las exigencias de los medios y a la resistencia del material. Y, precisamente debido a que recoge e incorpora la afirmación y la negación, también puede dar pie a una nueva oposición, en un nivel más alto de complejidad. En el nivel anterior, los opuestos eran, por un lado, el fin original, y por otro, las exigencias y resistencia materiales. En el nuevo nivel, el producto, como realidad, puede oponerse a los conocimientos o a los fines previos del sujeto; por ejemplo, cuando el arte experimental subvierte los esquemas teóricos de los críticos (oposición producto/ideas); o cuando un logro se convierte, para el artista, en desafío para ser trascendido a través de nuevas creaciones (oposición producto/fines o, más claramente, producto/intereses, producto/necesidades).

Con lo anterior se pueden considerar superadas las dos limitaciones en la concepción que Sánchez Vázquez elabora de la creatividad. El resultado es una concepción de la creatividad aplicable tanto a la actividad práctica como a la teórica (cognoscitiva o teleológica), y con contextura dialéctica.

CONCLUSIONES

Se ha visto que para Adolfo Sánchez Vázquez la creatividad es un fenómeno de la actividad práctica o praxis, caracterizado por la unidad de lo subjetivo y lo objetivo, la imprevisibilidad del proceso y la unicidad e irrepetibilidad del resultado o producto. Esta concepción, como se explicó, presenta dos limitaciones, la de circunscribirse a la actividad práctica, y la de no detallar la estructura interna de la creatividad. Tales limitaciones fueron superadas mediante el método analógico, extendiendo la concepción de este filósofo a la actividad humana en general, y a través del método dialéctico, describiendo lo organización y dinámica internas del fenómeno creativo.

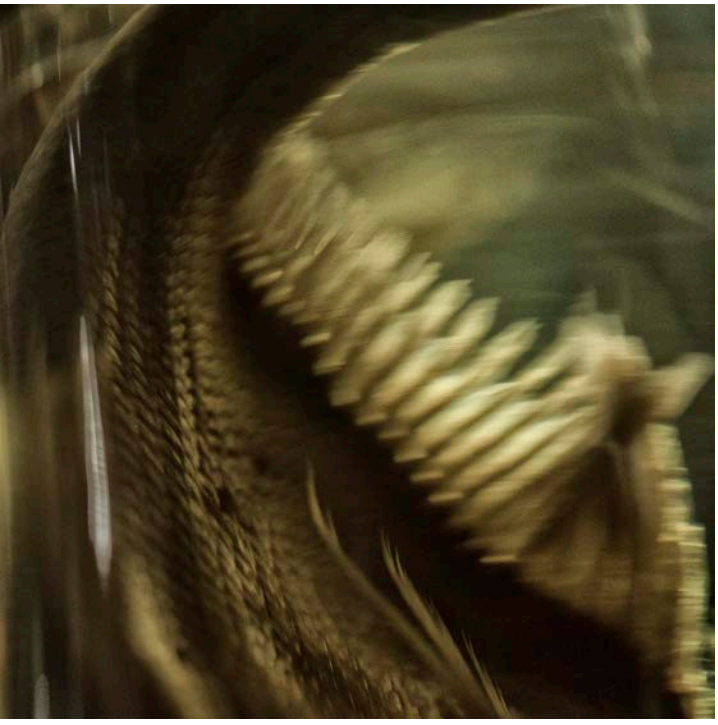
El concepto resultante puede formularse así: creatividad es la (1) negociación o el ajuste que el agente humano debe operar sobre sus (2) fines proyectados, ideas, para poder realizarlos superando las (3) exigencias de sus medios o instrumentos y la resistencia de su objeto. Ya se vio que el elemento 2 de esta definición puede entenderse como una afirmación dialéctica, el elemento 3 como su negación dialéctica, y el elemento 1 como su superación dialéctica.

Una consecuencia relevante de esta forma de definir la creatividad es que puede ser aplicada no solo al mundo de la actividad práctica, material, sino también al proceso de producción de conocimiento y de elaboración de fines, planes, proyectos, programas, etcétera. Otra consecuencia digna de ser mencionada es la comprensión del hecho de que el esfuerzo y las dificultades de la actividad creadora no son algo azaroso y prescindible, sino que se derivan de la naturaleza misma de esa actividad, y más específicamente, de sus oposiciones internas, del sentido de superación de esas oposiciones, y de la orientación permanente hacia niveles crecientes de complejidad.

NOTAS

[1] Para un acercamiento inicial al pensamiento de este filósofo, *vid*. Sánchez Vázquez (2003b; 2007); Gandler (2007), y Beltrán (2017b).

[2] Es importante enfatizar que tal limitación se debe a que el objetivo de Sánchez Vázquez es diferente respecto al del presente artículo; por tanto,



© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2019.

no ha de ser entendida como deficiencia, sino como particularidad conceptual y metodológica: conceptual, porque se refiere a la forma en que los conceptos son definidos por este filósofo, y metodológica, debido a que esa forma de definir los conceptos depende del objetivo perseguido.

[3] Beuchot (2009) efectúa una fundamentación filosófica rigurosa del método analógico desde una perspectiva ontológica y hermenéutica. Una interpretación es univocista si no reconoce la variedad de sentidos de un objeto; equivocista si no acepta una limitación o estabilidad en los posibles significados; y multivocista o analógica, si retoma la multiplicidad de sentidos del objeto, pero, al mismo tiempo, limita y estabiliza esos sentidos. Obsérvese que este autor extiende la hermenéutica más allá del ámbito de los textos, y la aplica a objetos estrictamente no textuales, pero que, analógicamente, pueden ser tratados como si fueran textos, y, por tanto, como susceptibles de interpretación.

[4] Una excelente introducción a la historia del método dialéctico, así como a sus diferentes conceptualizaciones y tipos, en Beuchot (2016).

REFERENCIAS

Beltrán García IA (2017a). Dialéctica de la creación y la innovación en la filosofía de la praxis de Adolfo Sánchez Vázquez. *Revista de Filosofía* 42(2):229-245. http://dx.doi.org/10.5209/RESF.57336.

Beltrán García IA (2017b). Economía y libertad. Diálogo entre Adolfo Sánchez Vázquez y Eduardo Nicol. *Contrastes*. *Revista Internacional de Filosofía* 22(2):23-38. https://revistas.uma.es/index.php/contrastes/article/view/3473/3177.

Beuchot M (2009). *Tratado de hermenéutica analógica. Hacia un nuevo modelo de interpretación*. 4ª ed. México: UNAM/Ítaca.

Beuchot M (2016). *Dialéctica de la analogía*. México: Paidós.

Gandler S (2007). *Marxismo crítico en México: Adolfo Sánchez Vázquez y Bolívar Echeverría*. México: FCE/UAQ.

Sánchez Vázquez A (2003a). *Filosofía de la praxis*. México: Siglo XXI.

Sánchez Vázquez A (2003b). *Una nueva práctica de la filosofía*.

En *Adolfo Sánchez Vázquez, A tiempo y destiempo. Antología de ensayos*. México: FCE, pp. 320-330.

Sánchez Vázquez A (2007). ¡Praxis a la vista! En *Adolfo Sánchez Vázquez, Ética y política*. México: FCE, pp. 120-126.

Vargas Lozano y Gabriel (2009). Alcance y significado de la filosofía de la praxis. En *Ambrosio Velasco, Vida y obra. Homenaje a Adolfo Sánchez Vázquez*. México: UNAM, pp. 209-224.

Villoro L (1989). *Creer, saber, conocer.* 2ª ed. México: Siglo XXI.

Iver A. Beltrán García
Sistema de Universidades Estatales de Oaxaca (SUNEO)
iivehr@hotmail.com

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2019.

www.elementos.buap.mx

Ética en la era digital

Soraia **Silva Prietch**
Josefina **Guerrero García**
Juan Manuel **González Calleros**

Hace dos décadas Hirsch-Adler (2004) planteaba como pregunta central "¿Por qué es importante la enseñanza de la ética profesional?"; que él mismo contesta de la siguiente manera:

> La enseñanza de la ética profesional promueve en los estudiantes la reflexión sistemática sobre el servicio que prestarán a la sociedad, sus beneficiarios directos e indirectos, sus derechos y obligaciones y los posibles conflictos que van a encontrar. (p. 4)

En el libro de Cathy O'Neil (2017), la autora cita ejemplos de conflictos que muchas personas se imponen cuando califican muy alto sus valores de éxito, sea con el objetivo de mejorar su estatus social a través del ingreso en reconocidas universidades (por ejemplo, haciendo trampa en exámenes de admisión) o de vencer en competencias deportivas (por ejemplo, dopaje), a través de los cuales buscan beneficios individuales en detrimento de un juego limpio para todos.

En este contexto, el objetivo de este artículo es hacer una reflexión teórica sobre la importancia de la enseñanza de ética en la educación superior, los cambios en la sociedad y su impacto en la actuación ética en comunidad, así como algunos escenarios de enseñanza de ética en el área de computación. La reflexión se justifica

en la intención de estimular el pensamiento crítico y fomentar más debates sobre la temática en los potenciales involucrados en la educación superior.

TERMINOLOGÍA Y DEFINICIONES

Las primeras palabras que interesan son ética y moral, las cuales, según Savater (1991):

> [...] desde un punto de vista técnico [...] [las dos palabras] no tienen idéntico significado. "Moral" es el conjunto de comportamientos y normas que tú, yo y algunos de quienes nos rodean solemos aceptar como válidos; "ética" es la reflexión sobre por qué los consideramos válidos y la comparación con otras "morales" que tienen personas diferentes. (p. 24)

Cuando se emplea el término "ética profesional", de inmediato se asocia con la palabra deontología. Sin embargo, el mismo autor aclara que...

> [...] la deontología es un capítulo de la Ética general, concretamente la teoría de los deberes [...]. Los deberes profesionales son solo una parte muy restrictiva de los deberes en general [...]. (p. 6)

A menudo estamos expuestos a dilemas éticos en nuestra vida profesional, y como prestadores de servicios a la sociedad necesitamos reflexionar sobre la conducta ética "frente a la responsabilidad y compromiso en cada profesión [...], de acuerdo con los valores" (Lozano, 2020, p. 7) que tenemos. Así, pues, otro componente importante que impacta en ese proceso son los valores. Para Jefferson Machado (2003):

> La actuación de un profesional debe necesariamente basarse en un repertorio de valores socialmente acordados, basados en principios fundacionales que van mucho más allá de la búsqueda de lucro y beneficio personal.

METODOLOGÍA

En la revisión bibliográfica exploratoria realizada, utilizamos la técnica de "bola de nieve" (*snowballing*) de manera restringida: se empezó por la lectura de un conjunto semilla de artículos y a partir de sus referencias y términos clave se realizó la búsqueda de tales referencias y términos en Google Scholar para poder encontrar los artículos presentados como resultado.

Se llegó al conjunto semilla por indicación de colaboradores (Álvarez *et al.*, 2021), por los trabajos de Fiesler (Fiesler *et al*., 2020; Garrett *et al*., 2020; Smith *et al*., 2023), y por la búsqueda de trabajos sobre ética profesional en la educación superior.

Para la discusión de los resultados se realizó una reflexión teórica y un análisis cualitativo sobre los artículos recolectados.

LA ENSEÑANZA DE ÉTICA Y SU IMPORTANCIA EN LA SOCIEDAD ACTUAL

En esta sección se presentan referencias que discuten los temas centrales de este artículo: las razones para la enseñanza de ética en la educación superior, los cambios en la sociedad y su impacto en la actuación ética en comunidad, y algunos escenarios de enseñanza de ética en el área de computación.

Razones para la enseñanza de ética en la educación superior

Para contestar a la pregunta del título, en la Tabla 1 se presenta un listado de razones que indican la importancia de la enseñanza de ética en la educación superior, reportadas en diferentes trabajos.

A continuación, se describen las razones de la Tabla 1. Por "educación universitaria completa" se entiende la educación que brinda formación teórica y técnica en áreas específicas, además de proporcionar formación humanística y social; también podría referirse como educación universitaria integral o redonda (*rounded university education*), como mencionan Medina y Blanco (2014).

"Ética profesional no es innata" se refiere al hecho de que se requiere de estrategias de enseñanza y aprendizaje para promover la reflexión sobre responsabilidades, valores, competencias, entre otros; innata en el sentido de que los estudiantes no nacen, por así decir, con el conocimiento y se requiere aprendizaje sobre su actuación ética en una futura profesión.

La "prestación de servicios ético-sociales a la sociedad" hace alusión a los servicios que los futuros profesionales van a realizar para otras personas que pueden beneficiarse de manera directa o indirecta.

Aquí el enfoque es la interacción persona-persona, valorando y humanizando la manera como los servicios son realizados, tomando en cuenta que una o más personas serán usuarias o beneficiarias de la acción.

Con respecto a la "prevención del comportamiento poco ético", ante casos poco éticos evidentes en la sociedad (como en los ejemplos que citan Álvarez *et al*., (2021) sobre la academia y el gobierno, entre otros), discutirlos en la educación superior puede favorecer la reflexión y la discusión entre pares y, por consecuencia, evitar situaciones futuras moralmente dudosas.

El tema de la "privacidad y confianza en el tratamiento de datos personales" es muy actual, pues con el uso de productos y servicios mediados por tecnología en todos los sectores de la sociedad, es necesario estar conscientes de lo que esto puede representar. Más adelante mencionaremos algunos ejemplos (O'Neil, 2017; Fiesler *et al*., 2020; Garrett *et al*., 2020).

Finalmente, el desempeño ético profesional también puede ser guiado por recomendaciones y "códigos de ética de consejos y asociaciones profesionales", nacionales e internacionales, específicos para la interacción con los beneficiarios de los servicios prestados. Un ejemplo del área de la computación es el código de ética y conducta profesional de la ACM (Association for Computing Machinery).

Es posible que haya otras razones para la enseñanza de la ética en la educación superior, además de las presentadas en esta sección; pero esta es solo la punta del témpano y se necesita profundizar en los estudios futuros.

Los cambios en la sociedad y su impacto en la actuación ética en comunidad

En esta sección se pondrá atención en el impacto que los avances tecnológicos han representado en la sociedad. De acuerdo con Álvarez *et al*. (2021, p. 2), estos avances "han generado nuevos dilemas éticos". Por ejemplo, cuando se piensa en sistemas computacionales que analizan automáticamente una cantidad masiva de datos (*big data*) y toman decisiones en lugar de los humanos, O'Neil (2017) menciona que, en un principio, se podría pensar que las máquinas procesan solamente números y no involucran pensamientos prejuiciosos en sus decisiones. Sin embargo, la autora reporta que detrás de las máquinas hay matemáticos y computólogos desarrollando estos modelos y algoritmos, y que echando un vistazo se encuentra mucha evidencia sobre el hecho de que la tecnología puede ser portadora de sesgos algorítmicos y, por tanto, es un factor en la ampliación de la desigualdad socioeconómica para personas históricamente marginadas en la sociedad.

La discusión de O'Neil (2017) va de la mano con el documental *Coded bias*, dirigido por Shalini Kantayya y lanzado en 2020, en el cual diversos investigadores (Joy Buolamwini, para citar un ejemplo) denuncian los sesgos en los algoritmos de inteligencia artificial (IA) de sistemas de reconocimiento facial hacia personas negras. Aún queda un largo camino por recorrer en términos de discusión y legislación sobre el desarrollo de modelos y algoritmos de IA que respeten los derechos humanos, ya que actualmente están explorando terrenos desconocidos.

Otro ejemplo es la creciente oferta de herramientas de IA (por ejemplo, ChatGPT, Bard, Litmaps, Scite.AI, entre otras) utilizadas en el medio académico en la investigación en la búsqueda de soluciones a problemas de programación, en la planeación

de clases, entre otras actividades. En los últimos años, otra tecnología emergente que ha tomado espacio en investigación es la llamada *deepfake*, con la que la apariencia física de una persona es reemplazada por la de otra. Para la investigación con usuarios de lengua de señas, esta puede ser una tecnología interesante para garantizar la privacidad de la persona que está comunicando información en video o en tiempo real. Recientes estudios han investigado el *voice deepfake* o *voice cloning* que reemplaza la voz de una persona por la de otra. De igual manera, en un ejemplo de accesibilidad para personas ciegas, una voz que se asemeja a la voz humana es más agradable de escuchar que una voz sintetizada al usar herramientas de lectura de pantalla. En ambos casos, el uso de *deepfake* para imitar imágenes o voces ajenas puede tener consecuencias negativas e igualmente cuestionables en términos de ética.

Algunos escenarios de enseñanza de ética en el área de computación

En este tema, los trabajos de Fiesler y colegas son base para esta reflexión (Fiesler *et al*., 2020; Garrett *et al*., 2020).

Fiesler y colaboradores (2020) recopilaron y analizaron de manera cualitativa 115 planes de estudios de cursos autodenominados "ética tecnológica" (*tech ethics*) de 94 universidades de Estados Unidos (70 de las 94), Canadá, Australia, Nueva Zelanda y países de Europa, Sudamérica y Oriente Medio. Gran parte de los cursos analizados ofrecen contenidos de ética en general, excepto por algunos (~16 %) que tratan de contenidos específicos relacionados con inteligencia artificial, videojuegos, discapacidad, entre otros. Entre los contenidos más recurrentes están: ley y política, privacidad y vigilancia, filosofía, desigualdad, justicia y derechos humanos, e IA y algoritmos.

Los resultados de aprendizaje más comunes fueron los siguientes: desarrollar el pensamiento crítico, detectar problemas, presentar argumentos, mejorar la comunicación, conocer múltiples perspectivas, crear soluciones, considerar consecuencias y aplicar reglas. Los autores sugieren que los profesores podrían aprender unos de otros, y que la participación en grupos de discusión con interés en la enseñanza de ética puede ser beneficiosa para todos los involucrados.

En el artículo de Garrett y colaboradores (2020), las preguntas iniciales para poner a prueba la reflexión sobre la enseñanza de ética e IA son:

> ¿Qué se está enseñando? [en cursos específicos de ética y clases de ética en cursos técnicos] Mientras capacitamos a científicos informáticos que construirán e implementarán herramientas de IA, ¿cómo los capacitamos para que consideren las consecuencias de su trabajo? (p. 272)

Con el análisis de 51 cursos de IA y aprendizaje automático (*machine learning*, ML), los autores ofrecen cuatro recomendaciones a educadores en IA: asignar tareas de lectura de artículos publicados recientemente (por ejemplo, sobre prácticas cuestionables de los proveedores de redes sociales); en los cursos técnicos, incluir prácticas de bien social como parte del proceso de construcción de IA al definir los objetivos o tareas de aprendizaje; hacer explícitos temas omitidos y recomendados en las directrices éticas de la IA (por ejemplo, accesibilidad, género, sustentabilidad); agregar contenidos de los cursos específicos de ética en las clases de cursos técnicos, de modo que se incentive la discusión en sectores de la sociedad que utilizan herramientas de IA (por ejemplo, sistemas de justicia, sector militar, etcétera).

Fiesler tiene otros trabajos relevantes en esa línea de estudios, tales como los relacionados con la integración de la ética en las clases de introducción a la programación al inicio de carreras de computación (en el entendimiento de que "cuanto antes, mejor"), y propone que las tareas estén contextualizadas con dilemas o conceptos éticos del mundo real (Fiesler *et al*., 2021) y con las actitudes de los profesores de cursos de computación hacia la incorporación de la ética en sus clases (Smith *et al*., 2023).

	Razones	Referencias
1	**La educación universitaria debería ser integral**	Medina y Blanco, 2014; Álvarez *et al*., 2021.
2	**La ética profesional no es innata**	Hirsch-Adler, 2004; Medina y Blanco, 2014.
3	**La sociedad necesita servicios éticos**	Barrio-Maestre, 2001; Hirsch-Adler, 2004; Medina y Blanco, 2014.
4	**Se puede prevenir el comportamiento poco ético**	Hirsch-Adler, 2004; Álvarez *et al*., 2021.
5	**Se necesitan privacidad y confianza en el tratamiento de datos personales**	O'Neil, 2017; Fiesler *et al*., 2020; Garrett *et al*., 2020; Álvarez *et al*., 2021.
6	**Los consejos y asociaciones profesionales requieren códigos de ética**	Davis, 2018; Álvarez *et al*., 2021.

Tabla 1. Razones y referencias.

DISCUSIÓN

De las seis categorías que se organizaron en la Tabla 1, no hemos discutido cuáles son más relevantes, porque para ello se necesitaría realizar entrevistas con diferentes tipos de públicos (estudiantes, profesores, gerentes educacionales, directores de secretarías de educación estatales o federal, entre otros), o con personas de diferentes áreas (salud, derecho, negocios, ingeniería, contaduría, veterinaria, etcétera).

Sin embargo, como se puede observar en la Tabla 1, las referencias citadas están ubicadas en un periodo de 21 años, entre 2001 y 2022, e incluyen trabajos de las áreas de humanidades y sociales, así como del área de ciencias exactas como ingeniería y computación, lo que confirma la vigencia de la discusión, además de que se observan coincidencias de razones entre distintas áreas.

Presentamos también un conjunto de ejemplos sobre el manejo de modelos, algoritmos y herramientas de IA y discutimos cómo puede impactar su uso en la vida en sociedad. Las tecnologías emergentes pueden promover cambios de comportamiento en las personas, en su contexto o hasta en espacios de convivencia más amplios en dependencia de su posición socioeconómica y política.

En la discusión de escenarios de enseñanza de ética en el área de computación, hay muchos factores que pueden influenciar en el proceso de aprendizaje, tales como la subjetividad de la evaluación del aprendizaje, la actitud docente, los conceptos de ética introducidos de manera temprana y contextualizada a estudiantes, y la metodología educativa.

PERSPECTIVAS

Como propuesta de trabajo futuro, se sugiere la investigación para conocer y discutir cuáles contenidos enseñar, qué técnicas pedagógicas usar, cómo (con cuáles estrategias), cuándo y dónde introducir cuestiones de ética y moral en la educación superior y cómo evaluar ese aprendizaje. Sabiendo de antemano que hay propuestas para introducción de cursos, materias o asignaturas sobre ética en distintas carreras (Hirsch-Adler, 2004), y que se proponen otros tipos de abordaje, como el uso de tecnologías educativas (por ejemplo, el EthicApp, Álvarez *et al*., 2021) asociadas a un curso o empleadas de manera transversal (Smith *et al*., 2023).

Otra propuesta es efectuar estudios semejantes a los realizados por Fiesler y colaboradores (Fiesler *et al*., 2020; Garrett *et al*., 2020), pero en países de América Latina, para conocer las similitudes y diferencias con lo encontrado en esas investigaciones y conocer la formación y la percepción sobre la ética

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2019.

profesional de computólogos e ingenieros que trabajan en la industria.

AGRADECIMIENTOS

Al doctor Daniel Moncecahua por su curso "Escribir para divulgar" y por motivarnos a divulgar la ciencia como si estuviéramos tomando un café y platicando con los lectores.

REFERENCIAS

Álvarez C, Zurita G, Hasbún B, Peñafiel S and Pezoa Á (2021). A social platform for fostering ethical education through role-playing. En Hessami AG and Shaw P (Ed.), *Factoring Ethics in Technology, Policy Making, Regulation and AI*, *IntechOpen*. Recuperado de: https://www.intechopen.com/chapters/75584.

Barrio-Maestre JM (2001). Analogías y diferencias entre Ética, Deontología y Bioética. En: Tomás Garrido G. *Manual de Bioética*. Edit. Ariel. Recuperado de: https://t.ly/bH752.

Fiesler C, Garrett N and Beard N (2020). What do we teach when we teach tech ethics? A syllabi analysis. In Proceedings of the 51st ACM technical symposium on computer science education (pp. 289-295). Recuperado de: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3328778.3366825.

Garrett N, Beard N and Fiesler C (2020). More than" If Time Allows" the role of ethics in AI education. In Proceedings of the AAAI/ACM Conference on AI, Ethics, and Society (pp. 272-278). Recuperado de: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3375627.3375868.

Hirsch-Adler AH (2004). Utopía y Universidad. La enseñanza de ética profesional. *Reencuentro. Análisis de Problemas Universitarios* (41) 0. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/340/34004105.pdf.

Machado NJ (2003). *Competência e profissionalismo: o lugar da ética*. São Paulo: Univesp.

Medina MJ and Blanco Encomienda FJ (2014). Professional ethics training in higher education. Wydawnictwo Adam Marszałek (Ed.), *The New Educational Review* 38:17-28, Poland.

O'Neil C (2017). *Weapons of math destruction: How big data increases inequality and threatens democracy.* New York: Crown Publishers.

Savater F (1991). *Ética para Amador.* Barcelona: Ariel.

Smith JJ, Payne BH, Klassen S, Doyle DT and Fiesler C (2023). Incorporating Ethics in Computing Courses: Barriers, Support, and Perspectives from Educators. *Proceedings of the 54th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* 1:367-373. Recuperado de: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3545945.3569855.

Soraia Silva Prietch
Josefina Guerrero García
Juan Manuel González Calleros
Facultad de Ciencias de la Electrónica
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
sp223570639@alm.buap.mx

www.elementos.buap.mx

La importancia de la religiosidad intelectual en Jürgen Habermas

H. C. F. **Mansilla**

No estamos ante una situación apocalíptica. En el siglo XXI nos enfrentamos, sin embargo, a una constelación que la podemos calificar como una crisis permanente con múltiples facetas: el cambio climático, la destrucción incesante de ecosistemas naturales, la burocratización de la vida social, la emergencia de numerosos estados fallidos, el recrudecimiento de regímenes nacionalistas y populistas, el uso recurrente de una potencia mortífera de destrucción (como en las guerras actuales de Ucrania y Gaza) y la prevalencia de modas teóricas de considerable vigor, como las muchas variantes del relativismo, que nos aportan pocos conocimientos realmente importantes. Ante la magnitud de estos retos parecería que la filosofía y las ciencias sociales no tienen la capacidad adecuada de comprensión y respuesta. Con algunas excepciones notables, se puede decir que la filosofía contemporánea ha desertado de su misión de proponer valores de orientación a la sociedad de nuestro tiempo.

Hay, por supuesto, muchos modelos explicativos para entender este estado de cosas. Se percibe, empero, la carencia de una visión de conjunto o, por lo menos, el descrédito de lo que antiguamente se llamaba una concepción totalizadora de la realidad social. Esta expresión cayó en el olvido por algunas razones muy justificadas, pues ella nos remite también a modelos de pensamiento y organización que estuvieron vinculados a los experimentos

sociales más detestables que los seres humanos edificaron sobre la Tierra durante el siglo XX. Como dijo Max Horkheimer, todo conocimiento genuino en el campo histórico-social no puede renunciar a la reflexión acerca del sufrimiento humano y a su complemento indispensable, la idea de la felicidad.[1] Como siempre, hace falta un enfoque incómodo, crítico, incluyente, que no retroceda ante la necesidad de emitir juicios valorativos para comprender, por ejemplo, la legitimidad electoral de numerosos experimentos populistas y, al mismo tiempo, su maldad intrínseca.

Como se sabe por los avances de la antropología y la historia de las ideas, el pensamiento científico y el religioso provienen probablemente de una fuente común. La formación de concepciones filosóficas ha estado, a lo largo de milenios, influida por inspiraciones religiosas y teológicas, lo que, según Jürgen Habermas, afecta también e inevitablemente el contenido mismo de las teorías.[2] La religión ha sido hasta ahora el proyecto más amplio y efectivo para reducir el temor básico derivado de una incertidumbre fundamental: nuestro lugar en la creación. Las religiones, conjeturó Octavio Paz en un espléndido texto, han sido la respuesta a una necesidad profunda, pero apenas transmisible mediante conceptos racionales: el "regreso a esa totalidad de la que fuimos arrancados".[3] El retorno a esa "patria original" denota evidentemente rasgos místicos, pero este factor no desvaloriza un sentimiento hondo y perenne de los mortales que, según Herbert Marcuse, no está opuesto a la razón.[4] De acuerdo con Octavio Paz, el sentimiento religioso abarca la veneración de toda la obra de la creación, una especie de participación solidaria y fraternal que se expresa hoy en el designio de la protección ecológica.[5]

Una de las tesis de este ensayo es subrayar la necesidad de una reflexión que nos enseñe otra vez lo problemático del progreso histórico y de toda actividad científico-técnica, una reflexión como la emprendieron Max Horkheimer y Theodor W. Adorno al criticar el optimismo del racionalismo y la Ilustración. Por todo ello se puede percibir una notable actualización del viejo vínculo dilemático entre razón y fe, como lo demuestra la gran obra de Jürgen Habermas publicada en 2019. Se trata del libro más amplio escrito hasta ahora por este autor: *Auch eine Geschichte der Philosophie.*[6] Este último *opus magnum* de Habermas conecta la fe y la razón, trazando una "genealogía del pensamiento postmetafísico" que intenta "un esclarecimiento racional de la comprensión de uno mismo y del mundo", un esclarecimiento que reconstruye, con notable sistematicidad, "la transformación de la herencia de origen religioso"[7] en uno de los elementos centrales de la filosofía occidental.

Esta obra de Habermas abarca una visión enciclopédica del conjunto de la filosofía occidental con especial atención a los complejos nexos entre la fe y la razón. Habermas construye una notable síntesis centrada en el desarrollo del racionalismo y de la modernidad occidentales, como si la evolución del pensamiento mundial hubiese sido, en gran parte, una especie de preparación para arribar a ese resultado.

También en este *opus magnum* Habermas presupone que la humanidad ha avanzado en el dominio de la naturaleza exterior y en el desciframiento de nuestra consciencia mediante la adquisición continuada y creciente de competencias cognitivas y comunicativas. La autorreflexión de los seres humanos en un diálogo permanente y exento de presiones dominantes debería conducir a un orden social relativamente razonable.

El resultado establece que la historia humana ha sido una evolución siempre ascendiente de competencias de toda índole, sobre todo de índole racional, una evolución que al mismo tiempo configura una sucesión universal y *quasi*-obligatoria de estadios o periodos que se manifiestan en las diferentes formas del pensamiento teológico y de las prácticas religiosas.

En la propia terminología habermasiana se puede afirmar que hasta hoy las religiones articulan "una consciencia de lo que falta":[8] mantienen despierta una sensibilidad hacia fallos y carencias y preservan del olvido la memoria de la destrucción

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 6. Díptico, fotografía digital, 2019.

causada por el progreso instrumental-racional. Expresan intuiciones morales acerca de nuestras formas de convivencia y nuestras soluciones políticas. Y, sobre todo, contribuyen a vincular las reglas frías y abstractas de la moral universalista con imágenes de felicidad y paz.

Una vida bien lograda, como se decía en la Antigüedad, no puede ser reducida a la dimensión técnico-científica, por más brillante, previsible y exitosa que esta parezca ser, concepción que se inclina muchas veces a entender a los seres humanos y a su comportamiento como si fuesen vínculos medibles y relaciones cuantificables y tiende, por ende, a igualar y nivelar la humanidad. El criticar a esta corriente de la identificación forzosa e imparable de todo y todos conforma uno de los grandes motivos tematizados por la Escuela de Frankfurt. Siguiendo esta línea conceptual se puede decir que, a pesar de la universalidad contemporánea de los factores mercantiles, los nexos humanos no se agotan en vínculos contractuales, en la maximización del beneficio y en las decisiones según criterios de la racionalidad instrumental.

Habermas reconoce que en el mundo occidental la sustancia normativa de los principales códigos éticos ha sido determinada por los grandes credos religiosos, aunque estos se hayan convertido hoy en un asunto estrictamente privado e individual.

Dos elementos han tenido una influencia decisiva: los contenidos de la moral hebrea de justicia y rectitud del Antiguo Testamento y la ética del amor cristiano del Nuevo Testamento. Efectivamente: las más diversas corrientes histórico-culturales han transmitido estos principios a sociedades muy diferentes de las de origen, los han modificado y enriquecido y finalmente los han secularizado en gran medida. Pero fue su núcleo religioso lo que posibilitó que hayan alcanzado una fuerza notable de vigencia, perdurabilidad y convicción públicas que hasta el presente no ha podido ser reemplazada por otra creación cultural.

En todas sus últimas obras dice Habermas que sería injusto excluir a la religión del debate público en las sociedades secularizadas del presente porque la religión sigue siendo la gran fuente para la dotación de sentido y porque aún hoy la frontera entre lo santo y lo profano permanece fluida.

Algo podemos aprender de experiencias pasadas, pues en cierto sentido el ser humano exhibe algunas continuidades notables. El *opus magnum* de Habermas está centrado en la evolución del racionalismo occidental, pero también se enriquece examinando los primeros modelos civilizatorios de la historia humana en Mesopotamia e Israel.[9]

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 12. Díptico, fotografía digital, 2016.

Habermas señala que en estas grandes culturas la presión de la vida cotidiana debilitó paulatinamente la fuerza explicativa y cognitiva de las visiones míticas del mundo; la experiencia de las presiones sociales permanentes fomentó poco a poco una cierta autonomía del pensamiento y obligó a un razonar fuera de las seguridades que brindaban las verdades teológicas.

Evidentemente: el caso de Mesopotamia es filosóficamente el más interesante. Desde un comienzo y diferenciándose de Egipto, el país entre el Tigris y el Éufrates fue una región abierta a las devastaciones humanas (las invasiones permanentes de otros pueblos) y a los desastres naturales (inundaciones, sequías y terremotos), y conoció así un clima de frecuentes calamidades sociales, en un grado mucho mayor que en otros territorios.

Todo esto, según varios investigadores de las culturas antiguas, favoreció la primera la reflexión filosófica sobre el sentido de la historia y la existencia. Esto condujo de manera relativamente rápida al florecimiento de una literatura sumeria de extraordinaria calidad, que fundamentó el nacimiento de un pensamiento protofilosófico por primera vez a nivel mundial. Al reflexionar en torno a las calamidades sucesivas que ocurrieron en su país, los sumerios elaboraron una contribución realmente original. Se trata de una visión pesimista del mundo en la cual los elementos celebratorios son escasos y no conducen a una concepción armonicista de la totalidad social y divina, como en casi todos los otros modelos civilizatorios.

Los textos sumerios están llenos de agravios y quejas contra los hombres y también contra los dioses, lo que, obviamente, no constituye algo único a lo largo de la historia universal.

Pero los agravios de esta cultura (tercer milenio a. C.) nunca hallan consuelo o simplemente una respuesta plausible.[10] El legado filosófico de la civilización sumeria es, por lo tanto, una concepción distanciada y crítica del destino, de los dioses y de los hombres. Los dioses no son siempre propicios a nuestros designios, y los hombres tienden permanentemente a la traición.

El ámbito humano es el reino de la inestabilidad general y de la astucia práctica, con sus fenómenos conexos, como el abuso de confianza, la perversidad y la inconsecuencia.

Estos escritos ponen tempranamente en duda la justificación usual de las funciones del Estado y de las dinastías reinantes; tematizan asimismo el sinsentido de la rectitud ética. Estas muestras arcaicas de un pesimismo moral y de un escepticismo cognitivo son algo muy raro, que se da pocas veces

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 13. Díptico, fotografía digital, 2016.

en otras civilizaciones, por lo menos en estadios tempranos de las mismas.

Las preguntas decisivas que entonces emergieron en Sumeria pueden ser formuladas de la siguiente manera: ¿vale la pena un comportamiento de acuerdo con las leyes divinas y a las buenas costumbres del tiempo?, ¿tienen sentido la moral y su práctica cotidiana?, ¿poseen los dioses la omnipotencia y la sabiduría que habitualmente se les atribuye?, ¿es nuestro mundo, que nos han dejado u ordenado los dioses, realmente razonable y digno de ser cuidado y celebrado?, ¿hay poderes por encima de los dioses? Y entonces: ¿qué sentido tiene el mundo? Estas preguntas, muchas sin una respuesta adecuada, configuran la originalidad del aporte mesopotámico a la paulatina formación de una filosofía crítica, que ya entonces habría podido ser calificada como la consciencia de la desolación humana, sin crear o presuponer simultáneamente (a) un consuelo naturalista o teológico y (b) una gran síntesis final armonicista, como se puede percibir en las obras literarias de numerosos modelos civilizatorios.

Como dijo Habermas en varias publicaciones de las últimas décadas y lo sistematizó en su *opus magnum*,[11] las creencias religiosas y sobre todo una religiosidad intelectual, promueven un freno para la *hybris* –el orgullo, la soberbia y la desmesura–, una limitación para los designios humanos de dominación y explotación totales del universo. Hay que considerar que la racionalidad instrumental, alimentada precisamente por sus éxitos en la dominación del mundo objetivo y exenta de un espíritu de modestia ante la naturaleza y la esfera íntima de los seres humanos, puede transformarse en una convicción dogmática y soberbia que no se deja irritar ni conmover por Auschwitz o Hiroshima.

NOTAS

[1] Max Horkheimer, *Die Aktualität Schopenhauers* (La actualidad de Schopenhauer), en: Max Horkheimer / Theodor W. Adorno, *Sociologica II. Reden und Vorträge* (Sociológica II. Discursos y conferencias), Frankfurt: Europäische Verlagsanstalt 1962, pp. 124-141, aquí p. 138.

[2] Jürgen Habermas, *Die Grenze zwischen Glauben und Wissen. Zur Wirkungsgeschichte und aktuellen Bedeutung von Kants Religionsphilosophie* (La frontera entre fe y saber. La historia de la influencia y la importancia actual de la filosofía de la religión de Kant), en: Jürgen Habermas, *Zwischen Naturalismus und Religion. Philosophische Aufsätze* (Entre el naturalismo y la religión. Ensayos filosóficos), Frankfurt: Suhrkamp 2005, p. 234.

[3] Octavio Paz, *Itinerario,* Barcelona: Seix Barral 1994, p. 136.

[4] En un texto hoy olvidado Marcuse aseveró que "[...] la idea de la razón no es necesariamente antirreligiosa. La razón deja la posibilidad abierta de que el mundo sea una creación de Dios y que

© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2020.

su ordenamiento sea divino y determinado por este fin". Herbert Marcuse, *Vernunft und Revolution. Hegel und die Entstehung der Gesellschaftstheorie* (Razón y revolución. Hegel y el origen de la teoría social), Neuwied / Berlin: Luchterhand 1962, p. 225.

[5] Octavio Paz, *op. cit.* (nota 3), pp. 138-139.

[6] Jürgen Habermas, *Auch eine Geschichte der Philosophie* (posible traducción: Otra historia de la filosofía), vol. I: *Die okzidentale Konstellation von Glauben und Wissen* (La constelación occidental de creer y saber); vol. II: *Vernünftige Freiheit. Spuren des Diskurses über Glauben und Wissen* (Libertad razonable. Indicios del discurso sobre creer y saber), Berlin: Suhrkamp 2019.

[7] Jürgen Habermas, *Auch..., op. cit.* (nota 6), vol. I, p. 9, 12, 15.

[8] Jürgen Habermas, *Zwischen Naturalismus und Religion, op. cit.* (nota 2), pp. 1-13.

[9] Jürgen Habermas, *Auch..., op. cit.* (nota 6), vol. I, p. 274.

[10] Cf. dos brillantes textos: Thorkild Jacobsen, *Mesopotamia,* en: H. Frankfort *el al*., *El pensamiento prefilosófico,* México: FCE 1958, vol. I, pp. 165-284; Sabatino Moscati, *Die Kulturen des Alten Orients* (Las culturas del antiguo Oriente), Munich: Piper 1962, pp. 74-88, 282-288.

[11] Jürgen Habermas, *Auch..., op. cit.* (nota 6), vol. I, p. 331.

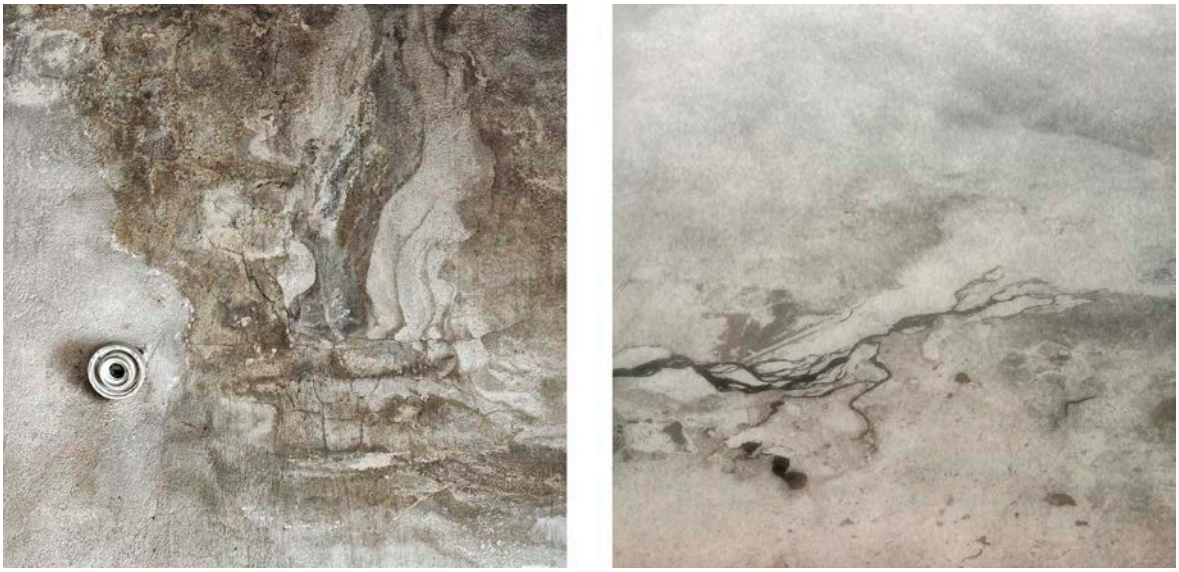
H. C. F. Mansilla
Academia de Ciencias de Bolivia
hcf_mansilla@yahoo.com

Estigmatización y discriminación por obesidad

Fidelina **Anastacio-Landa**
Yolanda **Campos-Uscanga**

En México, un país donde el 43.8 % de los adolescentes de 12 a 19 años y el 74.1 % de los adultos mayores de 20 años tienen exceso de peso (sobrepeso u obesidad) (INSP, 2020), no es raro conocer a alguien con esta enfermedad; o sin ir más lejos, nosotros mismos ser parte de estas cifras. Tampoco es raro que, debido a ello, hayamos sido discriminados o humillados por nuestra apariencia "gorda" o que nosotros hayamos mostrado actitudes negativas hacia la apariencia de otras personas con exceso de peso.

La intención de este artículo no es promover que las personas desarrollen o mantengan sobrepeso u obesidad, ya que en sí misma la obesidad es una enfermedad crónica caracterizada por exceso de tejido graso en el organismo, cuya presencia aumenta el riesgo de desarrollar enfermedades no transmisibles como diabetes, hipertensión, enfermedades cardiovasculares, trastornos del aparato locomotor, algunos tipos de cánceres, entre otros padecimientos que pueden causar discapacidades, lo que implica disminución en la calidad de vida (OMS, 2022), una inversión onerosa para el cuidado de la salud y, en casos extremos, reducción del tiempo de vida. Asimismo, la obesidad también puede afectar la salud mental de las personas que la padecen, ya que se ha relacionado con baja autoestima, depresión, ansiedad y trastornos alimentarios (Cruzat-Mandich *et al*., 2017). Más bien, nuestro objetivo es exponer que las personas que tienen exceso de peso, además de las consecuencias en su



© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 10. Díptico, fotografía digital, 2018.

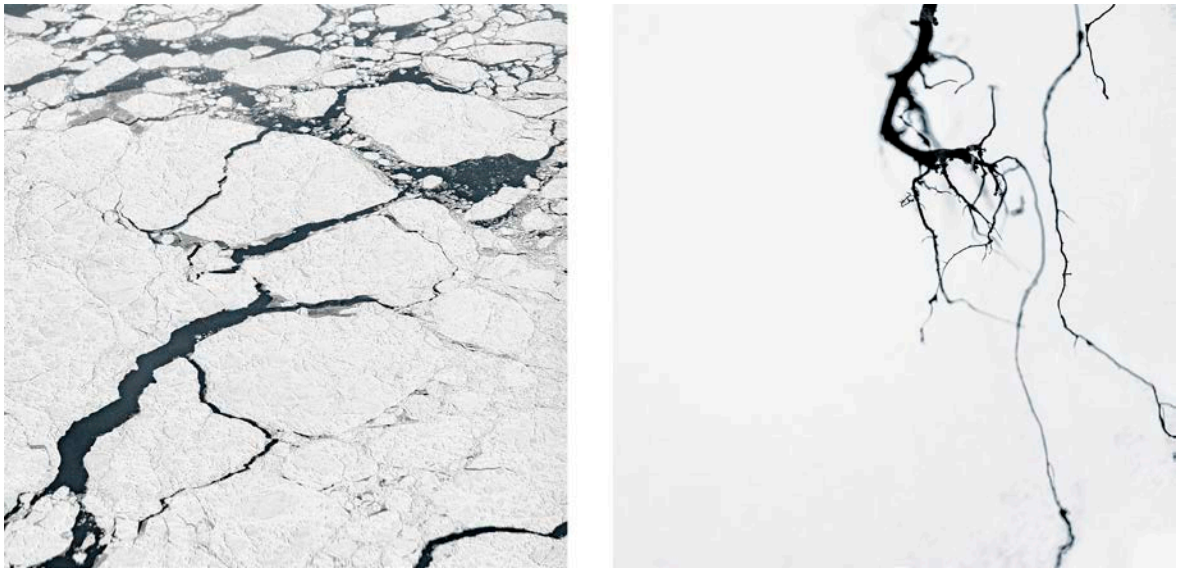
salud física y mental, también en el aspecto social frecuentemente son víctimas de estigmatización y discriminación por su apariencia, lo cual hace más complicado su apego a estilos de vida saludables y puede generar mayores consecuencias negativas en su estado de salud física y mental.

DISCRIMINACIÓN POR OBESIDAD EN CIFRAS

Si bien la obesidad es una enfermedad preocupante por las complicaciones físicas y los problemas de salud que podría enfrentar una persona que la padece, también es importante considerar como un problema serio las consecuencias psicológicas y sociales que puede vivir alguien con obesidad a causa de las actitudes negativas que como colectividad tenemos ante esta enfermedad.

Aunque seguramente hemos escuchado las palabras "estigmatización" y "discriminación", tal vez no entendemos el gran impacto que pueden tener en el bienestar de las personas. Estigmatizar es atribuir a alguien una característica que le devalúa o le degrada. Generalmente son actitudes y creencias negativas resultado del aprendizaje, de la experiencia propia y de la construcción de juicios acerca de otros a partir de la información que transmite el contexto. Por su parte, la discriminación se refiere a la parte conductual de la estigmatización porque consiste en dar un trato diferente a una persona por alguna característica física o por su estilo de vida. Estas conductas discriminatorias se suelen expresar verbalmente mediante burlas, insultos, nombres despectivos, etcétera, pero también a través de exclusión social con un trato injusto individual o colectivo y, en casos extremos por agresión física.

Según se reporta en la Encuesta Nacional Sobre Discriminación 2022, en México el peso corporal es uno los principales motivos de discriminación entre niñas, niños, adolescentes, jóvenes y adultos. Por lo menos el 19.4 % de la población de niñas y niños de 9 a 11 años expresó haber sido discriminado por parte de sus compañeras o compañeros de la escuela. De ellos, el 43.8 % ha sido discriminado específicamente por su peso o su estatura. Por su parte, el 28.5 % de adolescentes y jóvenes de 12 a 29 años, declaró haber sufrido discriminación, 7.1 % más que en 2017. Al preguntar el motivo de discriminación, en primer lugar se mencionó el peso o la estatura (39.2 %), de forma más acentuada en las mujeres (43.2 %) que en los hombres (34.1 %). Respecto a los lugares donde los jóvenes y adolescentes son víctimas de discriminación principalmente reportaron que en el



© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 32. Díptico, fotografía digital, 2020.

trabajo o en la escuela (38.4 %), seguido de la calle o el transporte público (36.2 %) y en tercer lugar en las redes sociales (23.5 %). Asimismo, en la población adulta de 18 años o más, el 23.7 % declaró haber sido discriminada (24.5 % mujeres y 22.8 % hombres). Respecto a los motivos de la discriminación, principalmente fueron la forma de vestir o arreglo personal (30.6 %), seguido del peso o la estatura (27.5 %) (INEGI, 2022).

ACTITUDES HACIA LA APARIENCIA DE LAS PERSONAS CON OBESIDAD

Actualmente, en nuestra sociedad, el modelo estético corporal promueve la delgadez para las mujeres y la musculatura para los hombres, como signos de belleza y éxito, al mismo tiempo que fomenta la evaluación desfavorable hacia las personas con sobrepeso u obesidad. La interiorización de este ideal corporal está relacionada con factores tales como la elevada exposición a los medios de comunicación y las redes sociales, pero también a la influencia de los grupos sociales donde nos desarrollamos (Escandón-Nagel *et al*., 2020).

Todas las presiones sociales actuales sobre la apariencia llevan a las personas con obesidad a interiorizar el modelo de cuerpo esbelto y realizar la comparación física entre el cuerpo real y el idealizado, lo que produce mayor insatisfacción con la imagen corporal, y afecta su estado de ánimo y su autoestima, aumentando incluso el riesgo de desarrollar trastornos del comportamiento alimentario (Escandón-Nagel *et al*., 2020).

Además, al sentirse juzgadas o señaladas, suelen no acudir al médico, no realizan ejercicio físico, no intentan consumir alimentos saludables, y son más susceptibles de caer en las redes de aquellos "productos milagro" o dietas de moda que parecen brindarles la posibilidad de encajar con los estándares de condición corporal "aceptables", pero que pueden ocasionarles problemas de salud aún más graves (Bermúdez-Borja y Hernández-Rodríguez, 2012).

Un aspecto preocupante es que las actitudes de rechazo a las personas con exceso de peso se dan desde edades muy tempranas debido a comentarios negativos, críticas o burlas principalmente de los padres u otros miembros de la familia que justifican su comportamiento con el discurso de la prevención de enfermedades, pero que en el fondo se suman a aspectos relacionados con la estética, lo que puede generar en los niños y los adolescentes

sentimientos negativos hacia sí mismos y hacia las personas que juzgan su apariencia. Además, los niños y adolescentes con exceso de peso tienen mayor riesgo de ser víctimas de acoso, burlas o rechazo por parte de sus compañeros en la escuela e incluso por parte de los profesores (Bermúdez-Borja y Hernández-Rodríguez, 2012).

En los adultos, la discriminación por exceso de peso también se hace presente en el entorno laboral, ya que los empleadores suelen percibirlos como personas menos competentes, productivas, organizadas y activas, lo que se refleja en menos oportunidades de crecimiento laboral (Bautista-Díaz *et al*., 2019)

Todas estas actitudes antiobesidad son mayores cuando se le atribuye una responsabilidad individual a la persona, al interpretar que la obesidad es algo que el sujeto puede controlar e incluso que es una decisión personal. En este punto es importante recordar que aunque la causa fundamental de la obesidad es un desequilibrio energético entre calorías consumidas y gastadas, existen muchos factores ambientales condicionantes de la ingesta alimentaria y el sedentarismo, tales como predisponentes familiares, sociales y culturales, disponibilidad de alimentos, índices de inseguridad pública, cargas laborales extenuantes, aspectos psicológicos o económicos, además de factores genéticos y metabólicos causantes del exceso de peso (Carrasco y Galgani, 2012).

Como podemos advertir, debido al origen multifactorial, la obesidad es una enfermedad difícil de tratar y seguramente la mayoría de las personas con obesidad han intentado en múltiples ocasiones mantenerse dentro de un peso saludable, pero debido a la gran cantidad de factores adversos han fracaso reiteradamente, llegando a la frustración y, finalmente, a la renuncia.

¿QUÉ PODEMOS HACER DESDE LA INVESTIGACIÓN?

Es importante reconocer los esfuerzos que se están realizando actualmente para visibilizar y erradicar la estigmatización y la discriminación por obesidad, ya que se han realizado diversas investigaciones tanto en individuos sanos como en personas con obesidad para evaluar diferentes percepciones tomando en cuenta diferentes grupos de edad, género y etnia. Sin embargo, también es importante mencionar que la mayoría de los trabajos que se realizan son principalmente revisiones de literatura y estudios transversales que, si bien permiten comprender mejor la magnitud del problema, no pueden interpretarse en sentido causal (Gómez-Pérez *et al*., 2017).

Consideramos que es necesario ampliar los trabajos que reportan este problema y que con la información que se tiene también se realicen intervenciones con el objetivo de disminuir y erradicar este problema en los diferentes entornos donde las personas con obesidad son discriminadas, como el ámbito familiar, escolar, laboral, los servicios de salud, el transporte público, las redes sociales, etcétera.

Asimismo, es importante que en los trabajos que se realizan se promueva siempre el lenguaje y el trato de respeto y dignidad hacia las personas que viven con esta enfermedad.

CONCLUSIONES

En momentos en que se lucha para que exista una sociedad más diversa y plural, las personas con exceso de peso deben ser respetadas y apoyadas para facilitar en ellas iniciativas de cambio que se puedan traducir en una mejora de su salud.

Es importante que como sociedad evitemos difundir el "cuerpo delgado" como símbolo de belleza y de éxito, ya que con esto favorecemos la aparición de comportamientos "antiobesidad" que incrementan las posibilidades de estigmatización y discriminación de las personas con exceso de peso, y contribuimos a que aumente en ellas el riesgo de sufrir problemas psicosociales.

Es importante que, tanto en la prevención como en el tratamiento del exceso de peso, se brinden herramientas para lograr estilos de vida saludable a través del fortalecimiento de las competencias personales y la creación de entornos que resulten

favorecedores para la salud, tanto por la disponibilidad de espacios para su cuidado como por el acompañamiento respetuoso en los procesos de cambio por parte de las redes de apoyo social, de tal forma que cuando una persona decida mejorar su salud a través del cambio de comportamientos, se sienta acompañada de forma respetuosa en su proceso, y asuma que lo verdaderamente importante es tener conductas de cuidado hacia el cuerpo y no los kilos perdidos.

Esto implica dejar de asumir que el exceso de peso depende exclusivamente de la voluntad del individuo que lo padece. Asimismo, necesitamos reforzar los programas de detección temprana de esta condición, su monitoreo constante y especializado, así como el tratamiento multidisciplinario (medicina, nutrición y psicología, entre otras), para buscar la solución a esta enfermedad.

REFERENCIAS

Bautista-Díaz ML, Márquez Hernández AK, Ortega-Andrade NA, García-Cruz R y Alvarez-Rayón (2019). Discriminación por exceso de peso corporal: Contextos y situaciones. *Revista Mexicana de Trastornos Alimentarios* 10(1):121-133.

Bermúdez-Borja B y Hernández-Rodríguez F (2012). La estigmatización del cuerpo obeso: percepción en un grupo de adolescentes mexicanos. *Archivos en Medicina Familiar* 14(1):21-27.

Carrasco F y Galgani J (2012). Etiopatogenia de la obesidad. *Revista Médica Clínica Las Condes* 23(2):129-135.

Cruzat-Mandich C, Díaz-Castrillón F, Lizana Calderón P, Aravena Winkler M y Haemmerli Delucchi C (2017). Diferencias en imagen corporal de jóvenes con normopeso y con sobrepeso/obesidad. *Nutrición Hospitalaria* 34(4):847-855.

Escandón-Nagel N y Larenas-Said J (2020). Actitudes antiobesidad, sintomatología alimentaria y significados asociados a la obesidad en estudiantes universitarios vinculados al área de la salud. *Nutrición Hospitalaria* 37(2):285-292.

Gómez-Pérez D, Ortiz MS y Saiz JL (2017). Estigma de obesidad, su impacto en las víctimas y en los Equipos de Salud: una revisión de la literatura. *Revista Médica de Chile* 145(9):1160-1164.

INEGI (2022). Encuesta Nacional Sobre Discriminación (ENADIS) 2022. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/ENADIS/ENADIS_Nal22.pdf.

INSP. (2020). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2020 sobre Covid-19. Resultados nacionales. Recuperado de: https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanutcontinua2020/doctos/informes/ensanutCovid19ResultadosNacionales.pdf.

OMS (2022). Obesidad y sobrepeso. Recuperado de: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight.

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2014.

Fidelina Anastacio-Landa
Instituto de Investigaciones Biológicas
Universidad Veracruzana

Yolanda Campos-Uscanga
Instituto de Salud Pública
Universidad Veracruzana
ycampos@uv.mx

© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2020.

www.elementos.buap.mx

Murciélagos:
¿héroes o villanos?

Miguel **Ortiz-Acosta**
Jorge **Galindo-González**

La pérdida de la cubierta vegetal o la fragmentación del hábitat (proceso que elimina la vegetación natural dejando parches o fragmentos arbolados rodeados de pastizales o cultivos), amenazan a una cantidad importante de especies a escala global, poniendo su supervivencia en riesgo. Los animales que habitan estas zonas fragmentadas deben enfrentar los embates de esta situación, de lo contrario, una alternativa para sobrevivir es emigrar en busca de nuevas áreas que satisfagan sus necesidades. Entre los principales cambios antrópicos contemporáneos que disminuyen la biodiversidad y afectan la estabilidad biológica y ecológica de las especies están, en primer lugar, la destrucción del hábitat (la pérdida de la cobertura vegetal por la expansión de la agricultura, ganadería e industrias) y, en segundo lugar, las especies exóticas invasoras, además del crecimiento poblacional y el cambio climático.

Aunque la mayoría de las especies afectadas por estos cambios no logran resistirlos, muchas otras han conseguido adaptarse y han encontrado espacios adecuados en zonas de alta interacción humana (por ejemplo, agroecosistemas, plantaciones, parques urbanos, edificaciones abandonadas, etcétera). Algunas especies, por ejemplo, de aves, mamíferos y por supuesto insectos, han desarrollado tolerancia a las nuevas condiciones ambientales

impuestas por la expansión urbana y sus efectos colaterales. Estas especies nos ofrecen una oportunidad para estudiar y entender las interacciones entre la fauna silvestre y el ser humano.

MURCIÉLAGOS EN CIUDADES

Entre los animales más exitosos en las urbes encontramos principalmente a los roedores (ratas, ratones y ardillas), los cuales vemos casi a diario, y hasta cierto grado forman parte de la vida cotidiana. Sin embargo, inadvertidos y silenciosos, los murciélagos, los únicos mamíferos capaces de volar, son abundantes en las ciudades, aunque parezca increíble. Actualmente se conocen más de 1,400 especies de murciélagos abundantes en todos los ecosistemas del planeta, excepto en los círculos polares. Su capacidad de vuelo les permite una gran movilidad entre parches de vegetación, cultivos, plantaciones de frutales, pastizales, ciudades, parques y jardines (Frick *et al.,* 2020; Ramírez-Fráncel *et al.,* 2022).

El triunfo de los murciélagos, a diferencia de muchos otros grupos de mamíferos, es su gran diversidad de dietas o gremios alimenticios: los hay insectívoros, frugívoros, nectarívoros, carnívoros, combinaciones de ellos y hematófagos. Esta diversidad les proporciona un abanico de posibilidades de éxito en todos los ecosistemas. Algunas especies incluso encuentran alimento o refugio en las zonas fragmentadas o urbanas, por ser más tolerantes que otras especies que no pueden sobrevivir en estos ambientes (Kasso *et al.,* 2013).

En las últimas décadas el registro de murciélagos en zonas urbanas por todo el mundo ha aumentado considerablemente, incluso bajo las condiciones estresantes generadas por la urbanización, como la pérdida de la cubierta vegetal, la contaminación del aire y del agua, la acústica y la lumínica, y los cambios en la disponibilidad de recursos alimenticios y de refugio. Esta capacidad de los murciélagos ha despertado la curiosidad científica por conocer cómo es que estos organismos sobreviven entre nosotros en condiciones ambientales perturbadas y urbanas (Russo y Ancillotto, 2015).

Como un ejemplo, la enorme ciudad de México es visitada por varias especies de murciélagos que encuentran alimento y refugio es sus parques y jardines (Figura 1).

LOS MURCIÉLAGOS PROVEEN BENEFICIOS A LA SOCIEDAD

Debido a la mencionada diversidad de gremios alimenticios, los quirópteros (del latín: mano alada), se distinguen por múltiples aportes ambientales, entre los que destacan su enorme eficacia y capacidad en el control de insectos plaga en nuestros sistemas agrícolas y forestales; su importante papel en la polinización de plantas útiles en la alimentación humana y la industria de las bebidas alcohólicas, como los agaves para producir tequila y mezcal; y por supuesto, su papel como dispersores de semillas para el mantenimiento y regeneración de los bosques y selvas.

Veamos más detalles. El 75 % de todas las especies de murciélagos se alimentan de insectos, y debido además a que son el gremio más abundante entre los murciélagos, tienen un importante impacto en el control de plagas. Se ha registrado el consumo de hasta 760 especies de insectos de diferentes hábitats de bosques, pastizales, paisajes agrícolas, hábitats acuáticos y urbanos (Tuneu-Corral *et al.,* 2023).

Los murciélagos no solo tienen efectos ecológicos positivos, también han demostrado beneficios importantes en el sector económico para la sociedad; por ejemplo, estudios recientes estiman que los murciélagos consumen suficientes plagas agrícolas como para ahorrar más de mil millones de dólares al año por daños a los cultivos y costos de pesticidas, esto solo en la industria del maíz en los Estados Unidos (Kasso *et al.,* 2013).

En México, por ejemplo, el murciélago de cola libre *Tadarida brasiliensis*, es uno de los más importantes en el control de estas plagas, sus presas incluyen varias especies de insectos adultos como el gusano cogollero del maíz o del algodón (*Helicoverpa zea* y

Figura 1. A un costado de la catedral en el zócalo de la Ciudad de México, agaves en floración proporcionan alimento a los murciélagos nectarívoros que se mueven entre el zoológico de Aragón, Chapultepec, el Pedregal y Xochimilco entre algunos otros sitios. Fotografía: Jorge Galindo-González.

H. armigera), el gusano soldado (*Spodoptera exigua*), cuyas larvas causan daños importantes en cultivos de pimiento, tomate, repollo, soya, además de algodón, maíz y otras plagas del arroz, caña de azúcar, chile, entre otros (Russell *et al.,* 2011).

Otras especies de murciélagos insectívoros son capaces de controlar poblaciones de insectos como los mosquitos, vectores de importantes enfermedades humanas como dengue, fiebre amarilla, chikungunya y Zika. Entre los frugívoros y los que se alimentan del néctar de las flores, se estima que interactúan (polinizan o dispersan sus semillas) con al menos 550 especies de plantas alrededor del mundo, muchas de ellas de importancia económica y alimenticia para los humanos (Ramírez-Fráncel *et al.,* 2022).

Otro beneficio importante derivado de los murciélagos es el comercio del guano (sustrato formado a partir del excremento de murciélagos insectívoros). En México y otros países como Cuba, India e Indonesia, el guano de los murciélagos, rico en nitrógeno, es importante por ser uno de los mejores fertilizantes naturales.

Recientes estudios encontraron en el guano bacterias con capacidad probiótica y antibiótica que podrían ser beneficiosas para la salud humana (Sakoui *et al.,* 2022).

También hemos descubierto en los murciélagos hematófagos (los llamados vampiros, *Desmodus rotundus*) que, a pesar de ser considerados plagas para la ganadería en la América tropical, su saliva contiene un compuesto (que ya se ha sintetizado en laboratorio) con uso potencial en la fabricación de medicamentos anticoagulantes como inhibidor de la trombosis arterial, lo cual es prometedor para la medicina moderna (Ma *et al.,* 2013). Por todo lo anterior, podemos afirmar que estos mamíferos voladores son importantes aliados en la economía y en la salud humana.

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 17. Díptico, fotografía digital, 2019.

EL LADO TEMIDO DE LOS MURCIÉLAGOS

Ciertas características de los murciélagos, como su larga esperanza de vida, su capacidad de dispersión, los hábitos migratorios de algunas especies y su comportamiento gregario (capaz de formar colonias de miles, cientos de miles y hasta millones de individuos), son condiciones ideales para que sus patógenos se establezcan en otros huéspedes y se propaguen largas distancias (Gupta *et al.,* 2021).

A pesar de estar bien documentado que los murciélagos son valiosos integrantes en casi todos los ecosistemas, incluidos aquellos modificados por humanos (agroecosistemas y ciudades), es necesario tener claro que interactuar con fauna silvestre siempre implica cierto riego para las personas, principalmente en temas de salud (Galindo-González, 2023).

Tres cuartas partes de los patógenos humanos emergentes son zoonóticos, es decir, patógenos que han cruzado la barrera entre especies, e infectado a humanos y a otros animales tanto domésticos como silvestres; más del 70 % de estas zoonosis son causadas por patógenos alojados en especies silvestres (Galindo-González, 2023).

Se conoce que los murciélagos son un reservorio natural de una gran variedad de bacterias y virus, la mayoría de ellos aún desconocidos para la ciencia, y representan un riesgo de zoonosis.

A la fecha, más de 130 especies de diferentes virus se han aislado e identificado en murciélagos de todo el mundo, entre las cuales, unas 60 son virus zoonóticos extremadamente infecciosos para los humanos como el SARS, MERS, SARS-CoV-2, Ébola, Nipah, Hendra, y por supuesto el de la rabia (Gupta *et al.,* 2021).

Así, por seguridad, lo mejor es evitar interactuar con murciélagos, y en general con cualquier especie de fauna silvestre, y si esto es inevitable, debemos tener las precauciones que ya conocemos: protección e higiene antes y después de interactuar con fauna silvestre (Galindo-González, 2023).

CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS

Los murciélagos son un grupo incomprendido; por un lado, se les valora por su papel en el control de plagas de insectos, la polinización de plantas y la dispersión de semillas, y por el otro, no reciben un reconocimiento razonable por parte de la sociedad, ya que injustificadamente se les teme e incluso repudia, principalmente por no conocerlos adecuadamente.

© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 4. Díptico, fotografía digital, 2019.

Además, y por desgracia, desde la reciente pandemia de la COVID-19, tienen mala reputación, se les asocia con virus zoonóticos y riesgo de contraer enfermedades peligrosas, lo cual ha ocasionado un miedo irracional, a tal grado que ha provocado matanzas de colonias enteras de murciélagos en varios países (Frick *et al.,* 2020).

Sin embargo, con la enorme cantidad de información existente sobre murciélagos (producto de miles de estudios científicos a nivel mundial), respaldamos firmemente la idea de que estos animales voladores aportan muchos más beneficios que riesgos. Cuando puedas, habla bien de ellos, no te dejes convencer por información infundada y tendenciosa, infórmate y difunde la verdad.

Finalmente, debemos entender que la fauna silvestre no es culpable de las enfermedades zoonóticas que afectan a los humanos, sino, más bien, somos los humanos quienes nos hemos buscado este mal innecesario al invadir y destruir sus hábitats de forma desmedida y sin control, promoviendo el intercambio de microrganismos patógenos y parásitos, que naturalmente no debería ocurrir si se respetara la integridad de las áreas naturales y la fauna silvestre (Galindo-González, 2023).

Debemos reconocer que los seres humanos modernos no pertenecemos a las áreas silvestres, somos una especie que vive en los sistemas que nosotros mismos hemos construido, sin embargo, dependemos de los recursos que se producen en los ecosistemas y agroecosistemas, que a su vez dependen de un equilibrio ecológico que constantemente rompemos con nuestras actividades. Finalmente, debemos evitar transformar los ecosistemas donde vivimos y de los que tantos beneficios obtenemos, nosotros y todos los seres vivos, necesarios para mantener el equilibrio natural.

REFERENCIAS

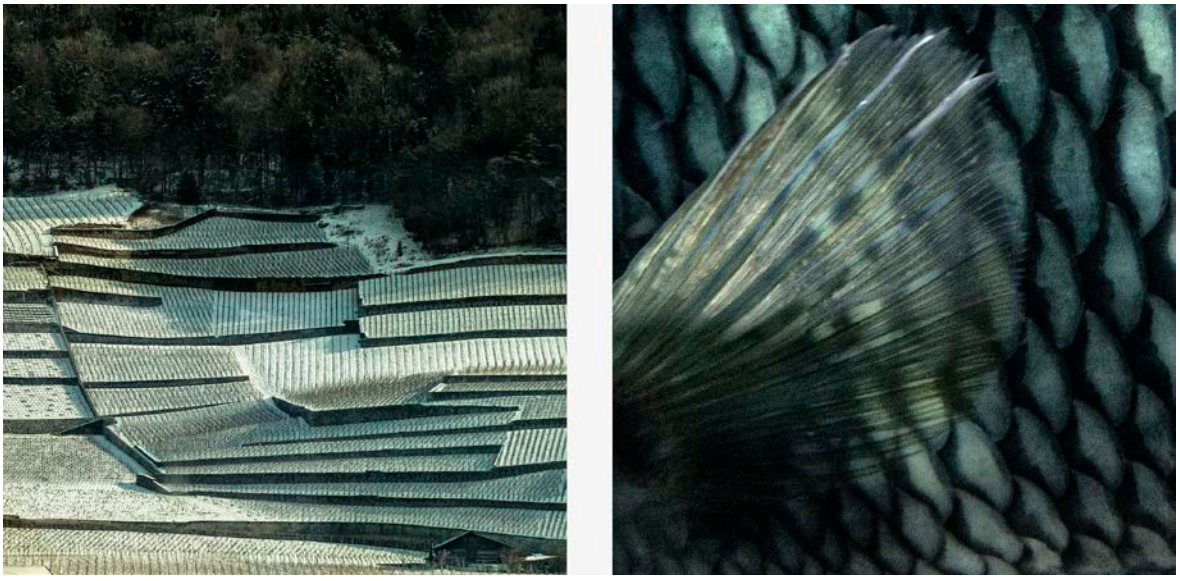
Frick WF, Kingston T and Flanders J (2020). A review of the major threats and challenges to global bat conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1469:5-25.

Galindo-González J (2023). Avoiding novel, unwanted interactions among species to decrease risk of zoonoses. *Conservation Biology* e14232.

Gupta P, Singh MP, Goyal K, Tripti P, Ansari MI, Obli Rajendran V, Dhama K and Malik YS (2021). Bats and viruses: a death-defying friendship. *Virus Disease* 32:467-479.

Kasso M and Balakrishnan M (2013). Ecological and economic importance of bats (Order Chiroptera). *International Scholarly Research Notices, Biodiversity* 2013:1-9.

Ma D, Mizurini, DM, Assumpção T C, Li Y, Qi Y, Kotsyfakis M, Ribeiro JMC, Monteiro RQ and Francischetti IM (2013). Desmolaris, a novel factor XIa anticoagulant from the salivary gland of the vampire



© Gabriela Torres Ruiz. De la serie *Mimesis* No. 37. Díptico, fotografía digital, 2017.

bat (*Desmodus rotundus*) inhibits inflammation and thrombosis in vivo. *Blood* 122:4094-4106.

Ramírez-Fráncel LA, García-Herrera LV, Losada-Prado S, Reinoso-Flórez G, Sánchez-Hernández A, Estrada-Villegas S, Lim BK and Guevara G (2022). Bats and their vital ecosystem services: a global review. *Integrative Zoology* 17:2-23.

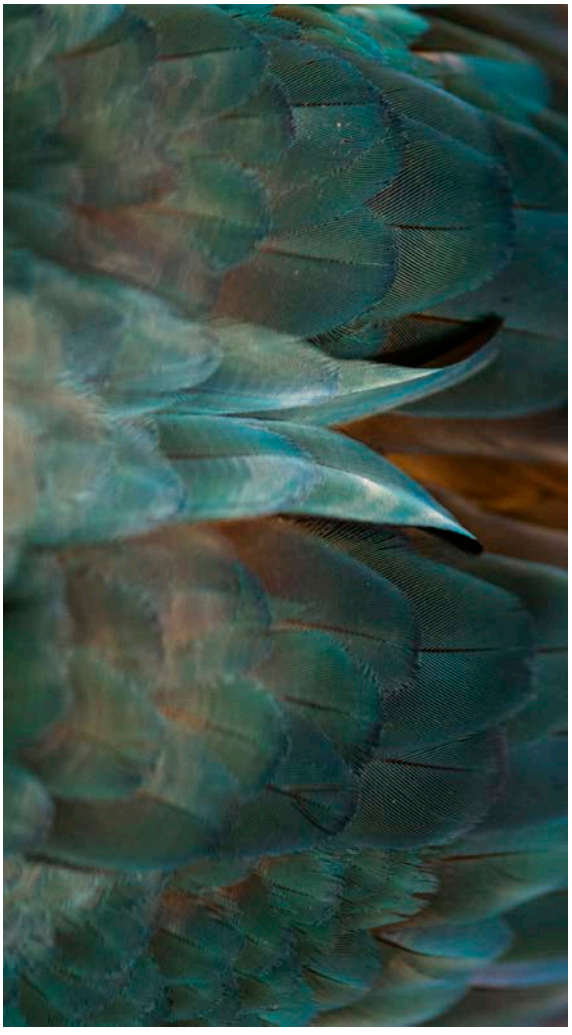
Russell AL, Cox MP, Brown VA and McCracken GF (2011). Population growth of Mexican free-tailed bats (*Tadarida brasiliensis mexicana*) predates human agricultural activity. *BMC Evolutionary Biology* 11:1-9.

Russo D and Ancillotto L (2015). Sensitivity of bats to urbanization: a review. *Mammalian Biology* 80:205-212.

Sakoui S, Derdak R, Addoum B, Pop OL, Vodnar DC, Suharoschi R, Soukri A and El-Khalfi B (2022). The first study of probiotic properties and biological activities of lactic acid bacteria isolated from Bat guano from Er-rachidia, Morocco. *LWT* 159:113224.

Tuneu-Corral C, Puig-Montserrat X, Riba-Bertolín D, Russo D, Rebelo H, Cabeza M and Lopéz-Baucells A (2023). Pest suppression by bats and management strategies to favour it: a global review. *Biological Reviews* 98:1565-1582.

Miguel Ortiz-Acosta
Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación
Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Jorge Galindo-González
Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada
Universidad Veracruzana
jorgegalin@gmail.com



© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2019.

www.elementos.buap.mx

Las colecciones biológicas y su papel en la crisis de la biodiversidad

Arantza **Sánchez Caballero**
Héctor R. **Eliosa León**

En nuestros días, existen diversos factores que afectan negativamente al planeta desde el punto de vista ambiental; entre los más conocidos por la sociedad destaca el cambio climático y la contaminación. Sin embargo, hay una amenaza tan grande o mayor que las anteriores que solo es conocida por un pequeño sector de la sociedad: la pérdida acelerada de la biodiversidad, definida esta como el conjunto de todos los seres vivos que habitan el planeta en cualquier nivel de organización. En los últimos 40 años se ha documentado en diversas fuentes la disminución de las poblaciones de variadas especies silvestres y la desaparición de otras en diferentes zonas del planeta. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, por sus siglas en inglés), organización que evalúa el impacto sobre la biodiversidad en términos de pérdida o vulnerabilidad de especies, ha señalado que hasta el 2020 se registraron en alguna categoría de amenaza al 41 % de los anfibios, 33 % de los corales, 33 % de los mamíferos marinos, 30 % de los tiburones y rayas, y el 10 % de los insectos (IUCN, 2023). También se ha cuantificado cronológicamente la extinción de especies; por ejemplo, en el caso de los reptiles se ha documentado una pérdida total de 22 especies desde hace 500 años. Esta problemática es causada tanto por acciones humanas como por causas naturales; dentro de las primeras

podemos mencionar el gran deterioro de diversos ecosistemas, la deforestación, la caza inmoderada de distintas especies, la contaminación de suelo y de mantos acuíferos y la introducción de especies invasoras. Por el lado de las causas naturales que provocan la pérdida de biodiversidad, se encuentran las enfermedades emergentes; ejemplos de estas son la fiebre amarilla, las enfermedades producidas por hantavirus y las infecciones por micobacterias, la quitridiomicosis y ophidiomicosis, entre otras (Monsalve *et al*., 2009), además de una pobre dispersión o especialización de las especies para adaptarse a los rápidos cambios en los ecosistemas que les permitan aumentar sus poblaciones en nuevas condiciones. Si bien el panorama es desalentador debido a que cuando una especie se extingue es para siempre y no hay manera de recuperarla, aún hay una esperanza debido a que recientemente los biólogos y otros científicos han propuesto estrategias que pueden permitir atenuar la pérdida de la biodiversidad.

EL TRABAJO BÁSICO DE LAS COLECCIONES BIOLÓGICAS

Una de las actividades pioneras para descubrir y conservar la biodiversidad por parte de los biólogos es la formación y mantenimiento de colecciones biológicas de los diferentes grupos taxonómicos. Una colección biológica es el conjunto de organismos, sus partes o derivados, organizados con un criterio sistemático que conforman un acervo con información valiosa de la biodiversidad. Actualmente, una colección biológica se considera algo más que el respaldo de la biodiversidad presente en el planeta; también permite revelar la historia de la vida y evaluar el impacto de las actividades antrópicas sobre la biodiversidad; además, ofrece la oportunidad de avanzar en investigación biomédica y desarrollo de productos farmacéuticos. En lo particular, las colecciones tienen como sus principales objetivos los estudios taxonómicos, de distribución geográfica, genéticos, ecológicos, de conservación y para la docencia (Ramírez y Ussa, 2021).

Finalmente, las colecciones biológicas permiten un acercamiento a la flora y fauna mediante el conocimiento de áreas como la morfología, la fisiología y la sistemática.

A lo largo de su historia, las colecciones biológicas han cumplido distintos objetivos. Las primeras fueron creadas formalmente durante los siglos XVI y XVII en los famosos "gabinetes de curiosidades'', los cuales no eran accesibles para el público en general y no cumplían con el objetivo de brindar información que permitiera conocer y entender cómo se compone la biodiversidad, sino que eran cúmulos de "rarezas" de carácter privado. Con el paso del tiempo, alrededor del siglo XX, estas colecciones privadas se fueron anexando a distintas instituciones públicas (Simmons y Muñoz-Saba, 2005), formando poco a poco lo que hoy en día son las distintas bases de datos que podemos encontrar en museos como el Museo de Historia Natural de Francia, el Museo Británico y el Museo Americano de Historia Natural de Nueva York, entre otros. Desde entonces se han formado colecciones biológicas en varios países, incluido México, asociadas principalmente a las instituciones educativas de nivel superior. Las colecciones biológicas pueden estar formadas por organismos vivos (jardines botánicos y zoológicos) o por especímenes muertos; ambos tipos forman parte de lo que comúnmente se denomina "colecciones de historia natural", razón por la cual en algunas publicaciones los términos se utilizan indistintamente. Actualmente se ha generalizado la práctica de que distintas colecciones de historia natural en las universidades ocupen un espacio común, formando así los museos. Por lo tanto, un museo puede contener la colección mastozoológica, la colección ornitológica, la colección herpetológica, entre otras, si reúne mamíferos, aves o anfibios y reptiles. Es importante tener presente que, usualmente, cada colección se aboca al estudio de un grupo biológico particular (con algunas excepciones como la colección herpetológica que agrupa a anfibios y reptiles) y tiene una representación geográfica local, por lo que su información será diferente a otra colección aun del mismo grupo biológico. Para resaltar la importancia de una

Nombre de la colección	Institución
Colección de anfibios y reptiles	Universidad Autónoma de Querétaro
Colección de anfibios y reptiles de Tabasco	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Colección Herpetológica	Universidad Autónoma De Baja California
Colección de anfibios y reptiles	Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango
Colección Nacional de Anfibios y Reptiles	Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México *et al*., 2021.
Colección Herpetológica	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Colección de Anfibios y Reptiles	Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Colección de Referencia de Anfibios y Reptiles	Instituto Nacional de Ecología
Colección Herpetológica	Museo de Zoología Alfonso L. Herrera, Universidad Nacional Autónoma de México
Colección Herpetológica	El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal De Las Casas

Tabla 1. Algunas colecciones de anfibios y reptiles en instituciones nacionales.

colección biológica, emplearemos como ejemplo la información útil que se puede obtener de una colección herpetológica.

LAS COLECCIONES HERPETOLÓGICAS EN EL RECONOCIMIENTO DE ESPECIES Y SU DISTRIBUCIÓN

La distribución de anfibios y reptiles es la información más esencial que podemos necesitar para los proyectos de conservación de esos grupos, y las colecciones biológicas han resultado ser una herramienta efectiva; por ejemplo, en Argentina, a partir de la amplia base de datos de la Colección de Herpetología de la Fundación Miguel Lillo (FML), se ha podido establecer una distribución geográfica confiable de anuros (ranas y sapos) en las sierras de Córdoba y San Luis en ese país sudamericano (Lescano *et al*., 2015). En México hay un caso similar para el estado de Morelos, donde gracias a la información proveniente de diversas colecciones biológicas como la Colección de Anfibios y Reptiles de la UAEM (CARUM), la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles de la UNAM (CNAR) y la Colección de Herpetología del Instituto Politécnico Nacional (ENCB-IPN), se logró obtener un listado de las diversas especies que conforman la herpetofauna de dicho estado y relacionarlo con los tipos de ecosistemas que se encuentran en ese territorio (Castro-Franco *et al*., 2006). En ambos casos esta información puede ser útil en futuras acciones de conservación. Por otra parte, las colecciones biológicas han estado estrechamente relacionadas con la identificación de las especies y han permitido obtener listados cada vez más completos de las regiones geográficas; algunas de ellas se indican en la Tabla 1. Por ejemplo, es bien conocido que Latinoamérica es uno de los sitios con mayor diversidad de anfibios en el mundo; tan solo en los dos últimos años se han reconocido para esta región 96 nuevas especies de las 254 descritas a nivel mundial, de las cuales 15 corresponden a México (Amphibia Web, 2023). Estrechamente relacionado con este punto se encuentra el monitoreo de las regiones geográficas, el cual, llevado a cabo en forma sistemática por personal asociado a las colecciones biológicas permite, entre otras cosas, conocer si las especies aún están presentes en sus áreas naturales.

© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2014.

Un caso interesante ocurre con algunas ranas del género *Plectrohyla*, perteneciente a la familia Hylidae, que cuenta en México con una alta diversidad (Parra-Olea *et al*., 2014), pero que debido a factores como la fragmentación de su hábitat se ha registrado disminución de distintas especies e incluso la desaparición de algunas de ellas; sin embargo, gracias a las distintas expediciones realizadas a bosques montanos del país, se sabe que algunas especies que se consideraban como desaparecidas hace poco más de diez años, no lo están debido a que han vuelto a ser encontradas; por ejemplo, *P. celata*, *P. cembra*, *P. chryses*, *P. crassa* y *P. robertsorum* (Caviedes *et al*., 2015). Estos ejemplos resaltan el papel de las colecciones biológicas como repositorios de información útil en la conservación de la biodiversidad, asociados al trabajo de campo.

LAS COLECCIONES HERPETOLÓGICAS Y LA QUITRIDIOMICOSIS

Otro aporte importante en el que se han involucrado recientemente las colecciones herpetológicas es en la investigación de la transmisión y origen de la enfermedad llamada quitridiomicosis, causada por el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd*), el cual ha sido registrado en 516 especies de anfibios alrededor del mundo. Este hongo utiliza la queratina presente en la capa superficial de la piel de los anfibios y provoca síntomas como el exceso de mudas, o el enrojecimiento y ulceración de distintas zonas de la piel (Mendoza-Almeralla *et al*., 2015), complicaciones que, con el paso del tiempo, provocan la muerte de los organismos.

Esta situación ha llevado al declive a varias especies de anfibios en diversas partes del mundo. El papel de las colecciones biológicas ha sido valioso ya que, gracias a ellas, se ha podido tener mejor comprensión de esta enfermedad, debido a que la presencia de *Bd* se ha descubierto en algunos especímenes preservados de distintas colecciones biológicas alrededor del mundo. Por ejemplo, en ejemplares de salamandras almacenadas en colecciones desde principios del siglo XX en Asia (Goka *et al*., 2009), o desde finales del siglo XIX en ranas de Norteamérica depositadas en colecciones biológicas (Talley *et al*., 2015). Para México, el registro más antiguo de *Bd,* procedente de ejemplares preservados en colecciones biológicas, corresponde a salamandras del año 1972 (Cheng *et al*., 2011). Esto sugiere que la presencia del hongo no es reciente, sino que ha existido desde hace más de un siglo en varias partes del mundo como un linaje no virulento (o al menos de bajo riesgo) que no provocaba afectaciones a gran escala en los anfibios. Este hallazgo permite plantear algunas

© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2014.

© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2013.

preguntas que pueden dirigir las futuras investigaciones; por ejemplo: ¿qué desencadenó el efecto mortal a gran escala de *Bd* sobre los anfibios? o ¿cómo ocurrió la propagación del patógeno? Las respuestas no son sencillas; se asume que están involucrados diversos factores, pero la primera pregunta se podría contestar parcialmente desde el punto de vista de las interacciones ecológicas, es decir, buscando el punto de desequilibrio en la relación patógeno-hospedero, contemplado desde la microbiota asociada a la piel de los anfibios. En cuanto a la segunda, la venta legal e ilegal de mascotas ha facilitado el establecimiento de *Bd* en nuevas áreas debido a que algunas especies como la rana toro americana *Lithobates catesbeianus*, y otras, al ser resistentes, son reservorios del hongo y pueden llevarlo consigo a sitios libres del patógeno, ya que esta especie ha sido introducida a diferentes partes del mundo, incluido nuestro país. Por otra parte, la presencia de *Bd* en ejemplares recientes de museos permite realizar estudios sobre la variación genética del patógeno; de este modo, integrando esta información con los datos históricos se podrían entender los procesos de propagación de la quitridiomicosis, así como de nuevas patologías que pueden surgir. En este ejemplo, la preservación completa y adecuada de los anfibios con sus simbiontes asociados puede generar nuevas preguntas de investigación que con la tecnología adecuada y un enfoque multidisciplinario puede permitir comprender las interacciones ecológicas a ese nivel.

CONSIDERACIONES FINALES

Parece contradictorio que las colecciones de historia natural puedan contribuir a la conservación de la biodiversidad, ya que se forman a partir de la extracción de especies de la naturaleza y su posterior preservación para registrar nuevas especies; sin

embargo, los ejemplares recolectados no ponen en riesgo la viabilidad de las poblaciones debido a que se sustraen pocos organismos, a diferencia de la fragmentación del hábitat u otras actividades de los seres humanos que afectan a poblaciones enteras.

En cambio, la valiosa información obtenida de los ejemplares contenidos en estos acervos puede servir para implementar acciones que ayuden a su conservación, como lo demuestran los ejemplos señalados, los cuales son una muestra mínima que resalta el valor de las colecciones de historia natural para documentar el pasado de nuestro planeta. Los beneficios que brindan las colecciones biológicas en el ámbito de la investigación son de gran importancia, debido a que permiten tener al alcance información que posteriormente puede contribuir a formular hipótesis sobre las tendencias evolutivas a futuro de los seres vivos. Esto se puede lograr por medio del análisis integral de una amplia variedad de especies en buenas condiciones de preservación que contenga datos como ADN, sitio y fecha de colecta y fotografías, entre otros. Por otra parte, las colecciones biológicas actualmente son de naturaleza multidisciplinaria; por un lado, pueden ayudar a diversos profesionistas para aprender el pensamiento integrador cuando se abordan en forma holística las distintas preguntas de la biodiversidad, y, por otro lado, al asociarlas con los planes de estudio en el sector académico pueden ayudar a los estudiantes a explorar no solo la biología y la biodiversidad, sino también conceptos centrales en biología. Finalmente, a pesar del valor de las colecciones biológicas, muchas de ellas están desapareciendo en varias partes del mundo, incluso en países desarrollados, debido a la falta de presupuesto y al desinterés e ignorancia acerca de la información que allí se concentra por parte de las autoridades responsables de su mantenimiento. Esta situación puede estar relacionada con el hecho de que la ciencia no escapa del mundo globalizado y dominado por la economía de mercado y, como indican Crisci y Katinas (2017), una colección de historia natural no rinde frutos económicos de manera directa debido a que sus fines no son lucrativos, sino que pretenden un beneficio generalizado para la biodiversidad, incluido el ser humano.

REFERENCIAS

AmphibiaWeb (2023). University of California, Berkeley, CA, USA. Consultado el 02/10/2023. https://amphibiaweb.org.

Castro-Franco R, Vergara-García GG, Bustos-Zagal MG y Mena-Arizmendi W (2006). Diversidad y distribución de anfibios del estado de Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana* 22 (1):95-101.

Caviedes-Solis IW, Vázquez-Vega LF, Solano-Zavaleta I, Pérez-Ramos E, Rovito SM, Devitt TJ, Heimes P, Flores-Villela OA, Campbell JA and Nieto Montes de Oca A (2015). Everything is not lost: recent records, rediscoveries, and range extensions of Mexican hylid frogs. *Mesoamerican Herpetology* 2:230-241.

Crisci JV y Katinas L (2017). El fin de las colecciones de historia natural en un tiempo de extinciones. En Bala LO (Ed.). *Conservación del patrimonio natural y cultural, conceptos básicos y definiciones* (pp.80-96). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires. Argentina.

Cheng TL, Rovito SM, Wake DB and Vredenburg VT (2011). Coincident mass extirpation of neotropical amphibians with the emergence of the infectious fungal pathogen Batrachochytrium dendrobatidis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 108:9502-9507.

Goka K, Yokoyama J, Une Y, Kuroki T, Suzuki K, Nakahara M, Kobayashi A, Inaba S, Mizutami T and Hyatt AD (2009). Amphibian chytridiomycosis in Japan: distribution, haplotypes and possible route of entry into Japan. *Molecular Ecology* 18: 4757-4774.

IUCN (2023). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2023-1. https://www.iucnredlist.org. Consultado el 25/10/2023.

Lescano JN, Nori J, Verga E, Robino F, Bonino A, Miloch D, Ríos N y Leynaud GC (2015). Anfibios de las Sierras Pampeanas Centrales de Argentina: diversidad y distribución altitudinal. *Cuadernos de herpetología* 29(2), 103-115. Recuperado en 27/09/2023, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852576820150002000001&lng=es&tlng=en.

Mendoza-Almeralla C, Burrowes P y Parra-Olea G (2015). La quitridiomicosis en los anfibios de México: una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86:238-248.

Simmons JE y Muñoz-Saba Y (2005). Historia de las colecciones biológicas. En Simmons JE y Muñoz-Saba Y (Eds.). *Cuidado, manejo y conservación de las colecciones biológicas* (pp. 17-30). Universidad Nacional de Colombia y Conservación Internacional Andes CBC. Colombia.

Arantza Sánchez Caballero
Héctor R. Eliosa León
Facultad de Ciencias Biológicas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
arantza.sanchezc@alumno.buap.mx

www.elementos.buap.mx

Micorriza para la vida entre metales tóxicos

L. Gilary **Acosta-Lizárraga**
Ana Angélica **Feregrino-Pérez**

Las ventajas de una sociedad industrializada también han traído problemas ambientales de gran importancia. La Revolución Industrial permitió el avance de la ciencia y la tecnología, que hicieron posible una mejor calidad de vida. Como consecuencia, se generó un crecimiento acelerado de la población a nivel mundial. De la mano de este crecimiento, vino la demanda de energía que, a su vez, trajo el incremento en la cantidad de industrias y la contaminación (Cachada *et al*., 2018).

Hoy en día, el problema de la contaminación de suelos con metales tóxicos es el resultado de sostener a una población en crecimiento que, antes que energía, requiere de alimento.

La demanda de alimento pronostica un crecimiento de entre 35 % y 56 % hacia 2050, por lo que el sector agrícola debe enfrentarse a la realidad de producir más en menos área o producir en suelo contaminado (van Dijk *et al.*, 2021).

Desafortunadamente, para los consumidores esto puede representar una situación de riesgo, pues se sabe que dichas sustancias son capaces de causar daños graves a la salud humana. Por eso es necesario alentar el conocimiento científico que aporte a la solución de esta problemática. Es ahí donde se inscribe el estudio de la micorriza.

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2019.

LA MICORRIZA

La micorriza es un tipo de simbiosis dada entre hongos y plantas, en la que el suministro de agua y nutrientes como el nitrógeno y el fósforo mejoran, mientras las plantas, a cambio, proveen al hongo hasta el 20 % del carbono que han fijado.

Más del 80 % de las plantas terrestres se encuentran en una relación simbiótica con algún hongo, unión que data del periodo Ordovícico, hacia el inicio de la era Paleozoica, más de 200 millones de años antes de la aparición de los dinosaurios.

Esto ha llevado a creer que los hongos micorrícicos fueron de suma importancia para permitir la evolución de las plantas primitivas hacia las formas que conocemos hoy en día (Lalica y Tomescu, 2022).

Existen dos tipos de interacción simbiótica entre hongos y plantas, según la naturaleza de la relación entre las células de ambos individuos.

La interacción superficial entre el hongo y la pared celular de las raíces de la planta se conoce como *ectomicorriza*, situación que se da con familias de plantas leñosas como la Myrtaceae, a la que pertenece el guayabo (*Psidium guajava*); la Pinaceae, a la que pertenecen pinos como el ayacahuite (*Pinus ayacahuite*); o la Rosaceae, a la que pertenece el manzano (*Malus domestica*). Esta relación se da con hongos pertenecientes a los Basidiomycota, Ascomycota y Mucoromycota. El otro tipo de interacción es conocida como *endomicorriza* debido a que los hongos (de la clase Glomeromycetes) son capaces de entrar en las células de las raíces de la planta.

Este tipo incluye: 1) las micorrizas arbusculares, encontradas en el 80 % de las plantas vasculares; es decir, plantas que cuentan con un sistema vascular para el transporte de agua y otros nutrientes; 2) las micorrizas ericoides, simbiosis dada en plantas del orden de las Ericales, del cual se destacan especies de importancia comercial como el té (*Camelilia sinensis*) o el mamey (*Pouteria sapota*); y 3) la micorriza orquideoide, en la que la interacción de los hongos se da con plantas de la familia Orchidaceae, a la que pertenecen las orquídeas (Khaliq *et al.*, 2022).

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2013.

MECANISMOS DE LA MICORRIZA

La interacción dentro la micorriza ha probado ser beneficiosa para la planta y el suelo de diversas maneras. En el caso de plantas que no cuentan con una relación simbiótica como esta, la absorción de nutrientes del suelo sucede a través de moléculas transportadoras localizadas en las raíces, lo que limita la absorción al área donde las raíces se extienden. Por otro lado, para plantas simbiontes, la toma de nutrientes del suelo la realiza el hongo a través de sus hifas (pequeños filamentos parecidos a las raíces de las plantas), las cuales pueden extenderse más de 25 cm como parte del crecimiento del hongo y llegar a lugares fuera de la zona de alcance de nutrientes de la planta.

Así, el hongo puede acceder a una mayor cantidad de moléculas como fósforo o amonio, y llevarlas a través de sus hifas hasta las células de las raíces que ha colonizado, donde son dispuestas para que moléculas transportadoras de la planta las puedan tomar.

Se ha encontrado que las plantas no solo mejoran su fisiología, sino que la dinámica de nutrientes es más eficiente, lo que hace de la micorriza un excelente fertilizante (Kalamulla *et al.*, 2022).

La micorriza también ayuda a la planta a incrementar su tolerancia ante patógenos como los nemátodos, hongos parásitos, bacterias y virus. El hongo de la micorriza es capaz de exudar sustancias que, por ejemplo, pueden reducir la introducción de nemátodos dentro de la planta, y hasta paralizarlos temporalmente.

En el caso de hongos patógenos, es la competencia por espacio y nutrientes la que disminuye la invasión y proliferación de los mismos, situación que se ha visto con hongos del género *Fusarium,* mejor conocido por el *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense, causante del "mal de Panamá", una enfermedad que devastó plantíos de plátanos (*Musa acuminata*) de la variedad Gros Michel en la década de 1950, y que obligó a parar su distribución mundial y a sustituir esa variedad por la Cavendish, la cual ha ocupado su lugar hasta el momento (Dey y Ghosh, 2022).

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2014.

LA MICORRIZA EN SUELOS CONTAMINADOS

Como ya se ha visto, la micorriza representa una ventaja para el desarrollo de la planta; no obstante, se ha identificado también que la presencia de esta simbiosis en plantas expuestas a suelos contaminados con metales tóxicos puede, de igual forma, ayudar a su supervivencia.

Diversas investigaciones han reportado que la micorriza es capaz de retener las moléculas de los metales tóxicos como plomo o cadmio disminuyendo, en consecuencia, la probabilidad de que estos entren a la planta.

Por ejemplo, un estudio realizado en Argentina en el año 2018, reveló que hongos micorrícicos de familias como la Gigasporaceae y la Glomeraceae, son capaces de realizar una detoxificación de plomo a través de sus esporas, haciendo que el elemento se absorba en estructuras del hongo y no en las de la raíz que han colonizado, reduciendo, por lo tanto, la cantidad de plomo disponible para las plantas *Bidens pilosa* (conocida como "amor seco"), *Tagetes minuta* (conocida como "huacatay") y *Sorgum halepense* (conocida como "sorguillo") (Salazar *et al.*, 2018).

De igual forma, otra investigación realizada en maíz (*Zea mays*) plantado en suelo contaminado con cadmio, y en convivencia con los hongos *Glomus versiforme* y *Rhizophagus intraradices*, mostró que cada simbiosis había reducido la concentración de cadmio en raíces y tallo.

Además, se encontró una relación entre estas interacciones y un incremento en la producción de biomasa de las plantas, es decir, la micorriza no solo ayudó en la supervivencia de las plantas bajo condiciones de contaminación por cadmio, sino que favoreció a que crecieran y produjeran más que las plantas no simbiontes (Zhang *et al*., 2019).

Cuando el hongo de la micorriza no puede defender por sus propios mecanismos a la planta hospedera, es capaz de enviar una señal que puede estimular procesos químicos dentro de la planta que la ayudan a prepararse para enfrentar la amenaza; o combatirla, si es que esta ya se encuentra dentro.

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2014.

Una de estas señales puede estimular la producción de fitoquelatinas por parte de la planta. Las fitoquelatinas son moléculas capaces de unirse a metales y, por lo tanto, pueden unirse, por ejemplo, al cadmio a través del grupo funcional formado por azufre e hidrógeno (mejor conocido como tiol), contenido en su estructura.

Así, se forma un complejo que se acumula en la vacuola y que posteriormente es transportado a partes menos sensibles para la supervivencia de la planta a través de los canales de flujo internos en el tallo conocidos como xilema y floema (Ghori *et al.*, 2019).

Por ejemplo, cuando el hongo ha advertido la presencia de metales tóxicos, puede estimular a la planta para que libere exudados a través de sus raíces, las cuales son capaces de alterar el pH del suelo.

El pH del suelo puede incrementar o disminuir la disponibilidad de metales tóxicos y su movilidad; por ejemplo, para que el plomo pueda ingresar a la planta, este debe estar en forma soluble (Pb^{2+}), lo que se logra cuando el pH del suelo es menor a 5.2; de lo contrario, el plomo se encontrará principalmente en forma de carbonatos, sulfatos o hidróxidos, los cuales son insolubles (Zulfiqar *et al.*, 2019).

CONCLUSIÓN

La micorriza es una interacción de gran importancia para la supervivencia y desarrollo de las plantas y los hongos simbiontes, pues no solo permite un mejor sistema de obtención de recursos como los nutrientes, sino que también provee a la planta de una protección ante patógenos o ante condiciones de contaminación con metales tóxicos.

El uso de micorrizas puede significar una herramienta para la restauración de suelos agrícolas, y permite obtener plantas que se adapten a las condiciones de contaminación actual. De igual forma, la absorción de metales tóxicos hacia el hongo, y no hacia la planta, disminuye un riesgo potencial a la salud de los consumidores. Por lo anterior, se considera de suma importancia alentar la investigación en este tema.

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2014.

REFERENCIAS

Cachada A, Rocha-Santos T and Duarte AC (2018). Chapter 1 – Soil pollution: an introduction to the main issues. En Duarte, A.C., Cachada A, Rocha-Santos T (Ed.), *Soil pollution. From monitoring to remediation* (pp. 1-28). Academic Press, Estados Unidos.

Dey M and Ghosh S (2022). Arbuscular mycorrhizae in plant immunity and crop pathogen control. *Rhizosphere* 22:100524.

van Dijk M, Morley T, Rau ML and Saghai Y (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for period 2010-2050. *Nature food* 2:494-501.

Ghori NH, Ghori T, Hayat MQ, Imadi SR, Gul A, Altay V and Ozturk M (2019). Heavy metal stress and responses in plants. *International Journal of Environmental Science and Technolology* 16:1807-1028.

Kalamulla R, Karunarathna SC, Tibpromma S, Galappaththi MC, Suwannarach N, Stephenson SL, Asad S, Salem ZS and Yapa N (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable agriculture. *Sustainability* 14(19):12250.

Khaliq A, Perveen S, Alamer KH, Haq M, Rafique Z, Alsudays IM, Althobaiti AT, Saleh MA, Hussain S and Attia H (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis to enhance plant-soil interaction, *Sustainability* 14(13):7840.

Lalica MK and Tomescu AM (2022). The early fossil record of glomeromycete fungi: new data on spores associated with early tracheophytes in the Lower Devonian (Emsian; *c.* 400 Ma) of Gaspé (Quebec, Canada). *Reviews in Paleobotany and Palynology* 298:104590.

Salazar MJ, Menoyo E, Faggioli V, Geml J, Cabello M, Rodriguez JH, Marro N, Pardo A, Pignata ML and Becerra AG (2018). Pb accumulation in spores of arbuscular mycorrhizal fungi. *Science of the Total Environment* 643:238-246.

Zhang X-F, Hu Z-H, Yan T-X, Lu R-R, Peng C-L, Li S-S and Jing Y-X (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate Cd phytotoxicity by altering Cd subcellular distribution and chemical forms in *Zea mays*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 171:352-360.

Zulfiqar U, Farooq M, Hussain S, Maqsood M, Hussain M, Ishfaq M, Ahmad M and Anjum MZ (2019). Lead toxicity in plants: impacts and remediation. *Journal of Environmental Management* 250:109557.

L. Gilary Acosta-Lizárraga
Ana Angélica Feregrino-Pérez
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
feregrino.angge@hotmail.com

Plantas que hiperacumulan elementos tóxicos de suelos contaminados

L. Gilary **Acosta-Lizárraga**
Magdalena E. **Bergés-Tiznado**

El desarrollo acelerado de la sociedad y su economía ha introducido al ambiente diversos elementos tóxicos como metales, entre los que se incluye al cadmio y al plomo; y metaloides (sustancias capaces de comportarse ya sea como metales o como no metales, dependiendo de las condiciones en las que se encuentren) como el arsénico. Se han identificado más de 5,000 sitios contaminados en al menos 50 países en el mundo, cifra que proporciona una perspectiva sobre la magnitud del problema. Las emisiones de estos contaminantes en los últimos 50 años han provocado la acumulación de los mismos en el suelo (FAO y UNEP, 2021).

Uno de los problemas más complicados que la humanidad deberá afrontar es la contaminación de suelos de uso agrícola, en los que la producción es ineficiente debido a los efectos negativos causados por los contaminantes presentes, y la inocuidad de los alimentos que se producen es incierta. El uso de plantas con la capacidad de acumular estos elementos en elevadas concentraciones, sin que esto represente un problema para el desarrollo de las mismas, es de suma importancia para restaurar los suelos de uso agrícola y, así, afrontar la inminente problemática de producción alimenticia para los próximos 20 años.

EFECTOS TÓXICOS EN LAS PLANTAS

El contacto de metales y metaloides tóxicos con las plantas puede desatar una serie de señales internas que llevan a este organismo a un estado conocido como estrés oxidativo. Durante este cuadro de estrés existe una acumulación, dentro de la planta, de sustancias llamadas "especies reactivas del oxígeno", o ROS, por sus siglas en inglés. Cuando esta acumulación sobrepasa la capacidad inherente de la planta para combatirlas, estas moléculas empiezan a causar daños a nivel celular, lo que afecta o incluso inhibe procesos importantes para la planta, como el crecimiento (Chaki *et al.*, 2020).

Llegar o no a este estado de estrés, dependerá de la sustancia tóxica con la que la planta esté en contacto y de la concentración a la que dicha sustancia se encuentre.

Debido a la cantidad de variables que afectan la interacción entre las sustancias tóxicas y las plantas ha sido imposible establecer una concentración fija en la que las plantas muestren un efecto tóxico. Sin embargo, muchos experimentos concluyen que, en general, en el caso de metales o metaloides, esta concentración suele ser muy pequeña. Por ejemplo, los efectos tóxicos del cadmio en plantas pueden observarse cuando la concentración disponible de este elemento en suelo es mayor a 8 mg/kg.

PLANTAS HIPERACUMULADORAS

Algunas plantas tienen la capacidad de absorber altas concentraciones de metales y acumularlos en sus tejidos, una característica conocida como hiperacumulación. Las especies de plantas conocidas como hiperacumuladoras son aquellas capaces de retener metales tóxicos dentro de su sistema en una proporción de al menos 1 % de su masa seca, excluyendo las raíces (Sytar *et al.*, 2020). Lo impresionante de estas especies es que la presencia de concentraciones tan altas de metales tóxicos no representa un peligro para ellas y, aunque sí se ha observado que su crecimiento y desarrollo puede ser lento en comparación con los de plantas no hiperacumuladoras, esto se debe al gasto de energía que representa mantener estas sustancias tóxicas dentro de ellas.

En 2017, un grupo de investigadores de Australia reconoció la importancia de este tipo de plantas y propuso la recopilación de información sobre su taxonomía, distribución, ecología, trabajos realizados y datos obtenidos sobre plantas hiperacumuladoras para crear una base de datos estandarizada y accesible para el público en general, que hasta ese momento ya registraba alrededor de 750 especies distintas (Reeves *et al.*, 2017).

ALGUNOS EJEMPLOS

Una de las familias de plantas más importantes en el campo de la hiperacumulación, debido a la gran cantidad de especies dentro de ella que poseen esta característica, es la Brassicaceae, familia a la que también pertenecen plantas mayormente conocidas por su interés alimenticio como la coliflor, el brócoli o el repollo.

Especies como la col china (*Brassica pekinensis*) o la mostaza de la India (*Brassica juncea*) resaltan por su papel como acumuladoras de plomo (Collin *et al.*, 2022).

Por otro lado, el berro oreja de ratón (*Arabidopsis halleri*), el berro de la piedra de arena (*Arabidopsis arenosa*) o el berro alpino (*Noccaea caerulescens*) destacan por su capacidad de acumular cadmio. Sin embargo, dentro de esta familia, se considera como uno de los mejores ejemplos del fenómeno de hiperacumulación a la planta *Arabidopsis halleri.*

Se trata de una planta perenne que produce flores, proveniente del hemisferio norte, específicamente de las regiones de Europa y Asia del Este, y cuya capacidad de acumular cadmio ha motivado el estudio de la misma (Honjo y Kudoh, 2019). Entre las investigaciones realizadas en *A. halleri*, se ha demostrado que puede acumular cadmio principalmente en hoja y raíz por encima de 5,700 mg/kg; es decir, puede acumular más de 50 veces la cantidad

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2014.

mínima del elemento de 100 mg/kg, necesaria para considerarla como hiperacumuladora.

Otra importante familia de plantas hiperacumuladoras es la Pteridaceae, formada por plantas que carecen de semilla y con hojas grandes y pinadas, también llamadas "helechos", como el cuamaquiztle o cilandrillo (*Adiantum andicola*). De esta familia, resaltan el helecho de Creta (*Pteris cretica*), el helecho de hoja delgada (*Pteris biaurita*) y el helecho chino (*Pteris vittata*) como plantas capaces de acumular arsénico (Zhao *et al.*, 2002).

De las plantas anteriores, *P. vittata* es la mayormente estudiada y, al igual que *A. halleri*, se considera modelo de estudio del fenómeno de hiperacumulación, específicamente de arsénico. *P. vittata* fue la primera planta identificada con esta capacidad por científicos estadounidenses en el año 2001, y desde entonces, los estudios realizados en ella han arrojado capacidades de acumulación del elemento en hoja (o fronda, en el caso de los helechos) y en raíz mayores a 5,000 mg/kg; es decir, cinco veces la cantidad mínima de arsénico de 1,000 mg/kg para considerarla como una planta hiperacumuladora.

IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS HIPERACUMULADORAS

El estudio de los mecanismos que estas plantas llevan a cabo, que les permiten hiperacumular elementos sumamente tóxicos, es la clave actual para el desarrollo de tecnologías de fitorremediación, con las cuales, mediante el uso de plantas, se busca disminuir las concentraciones o los efectos tóxicos de contaminantes en el ambiente. De esta forma, la restauración del suelo sucede de una manera más orgánica, menos agresiva y económicamente más eficiente, en comparación con otras técnicas convencionales basadas en ingeniería que pueden llegar a ser destructivas para el sitio y sumamente costosas (Greipsson, 2011).

Plantas hiperacumuladoras como *B. juncea*, para el caso de plomo y cadmio, y *P. vittata,* para arsénico, ya han sido exitosamente probadas para la remediación de dichos elementos en suelos contaminados en lugares como China, India, Italia, Japón y México. Sin embargo, no es posible atender todas las áreas contaminadas existentes únicamente con estas especies.

En la fitorremediación, un paso crucial es la selección de la planta a utilizar. En general, no solo se busca que las plantas sean resistentes, con gran capacidad de absorción del elemento de interés y que este no cause efectos nocivos en ella, sino cuidar aspectos como el ambiental, en el que la distribución de la planta juega un papel muy importante (Kafle *et al.,* 2022). La introducción de especies externas puede representar un problema de invasión que conlleva a desequilibrios en el ecosistema. Por eso, es necesaria no solo la búsqueda de nuevas especies con potencial hiperacumulador, sino también el estudio de las plantas ya conocidas que permita identificar los mecanismos de acción para así buscarlos en otras especies, aprovecharlos al máximo con la ayuda de otras sustancias, o intentar alterar otras plantas para que adquieran la misma característica sin afectar el equilibrio ambiental del sitio.

CONCLUSIÓN

Las plantas hiperacumuladoras representan una gran oportunidad de conocimiento y aplicación para la restauración total o parcial de suelos contaminados con metales tóxicos, ya que permiten la movilización, estabilización o extracción de elementos tóxicos para el ambiente, como es el caso de algunos metales y metaloides como el plomo, el cadmio y el arsénico. La ventaja de las plantas hiperacumuladoras por sobre plantas tolerantes es su resistencia a los efectos tóxicos que dichas sustancias pueden causar. El uso de plantas hiperacumuladoras en la fitorremediación se ha probado con éxito en suelos de uso agrícola que han sido contaminados, lo que significa el rescate del área para su reintegración en el ciclo de producción de alimentos, y la disminución del riesgo de alteración de la inocuidad alimentaria.

A pesar de que existen especies de plantas comestibles pertenecientes a la misma familia de hiperacumuladoras, aquellas no necesariamente cuentan con esta característica, por lo que su consumo no representa un riesgo para la salud. La producción de plantas hiperacumuladoras se realiza con el propósito de estudiar y aprovechar sus ventajas biológicas y no con fines de demanda alimentaria. El estudio de los mecanismos de hiperacumulación es de suma importancia no solo para la búsqueda de nuevas especies en diferentes áreas geográficas, sino también para poder entender los fenómenos de tolerancia en plantas de interés alimenticio o comercial y conseguir que sean capaces de crecer en suelos agrícolas contaminados.

REFERENCIAS

Chaki M, Begara-Morales JC and Barroso JB (2020). Oxidative stress in plants. *Antioxidants* 9(6):481.

Collin S, Baskar A, Geevarghese DM, Ali MN, Bahubali P, Choudhary R, Lvov V, Tovar AI, Senatov F, Koppala S and Swamiappan S (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects in plants: a review. *JHM Letters* 3:100064.

FAO y UNEP (2021). Global assessment of soil pollution – Summary for policymarkers. FAO, Roma.

Greipsson S (2011). Phytorremediation. *Nature Education Knowledge* 3(10):7.

Honjo MN and Kudoh H (2019). *Arabidopsis halleri*: a prennial model system for studying population differentiation and local adaptation. *AoB PLANTS* 11(6), PLZ076.

Kafle A, Timilsina A, Gautam A, Adhikari K, Bhattarai A and Aryal N (2022). Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents. *Environmental Advances* 8:100203.

Ma LQ, Komar KM, Tu C, Zhang W, Cai Y and Kennelley ED (2001). A fern that hyperaccumulates arsenic. Nature 409:576.

Reeves RD, Baker AJM, Jaffré T, Erskine PD, Echevarria G and Van der Ent A (2017). A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloid trace elements. *New Phytologist* 218(2):407-411.

Sytar O, Ghosh S, Malinska H, Zivcak M and Brestic M (2020). Physiological and molecular mechanisms of metal accumulation in hyperaccumulator plants. *Physiologia Plantarum* 173(1):148-166.

Zhao FJ, Dunham SJ and McGrath SP (2002). Arsenic hyperaccumulation by different fern species. *New Phytologist* 156(1):27-31.

L. Gilary Acosta-Lizárraga
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro

Magdalena E. Bergés-Tiznado
Unidad Académica de Ingeniería en Tecnología Ambiental, Universidad Politécnica de Sinaloa
mberges@upsin.edu.mx

www.elementos.buap.mx

Meiofauna, un mundo diminuto y frágil

Leonardo **García-Vázquez**
Samuel **Gómez**

El término meiobentos fue acuñado por Mare en 1942 y proviene del griego μείος, meîon, que traducido al español significa "más pequeño", y βένθος, benthos, que significa "fondo marino", e incluía, por ejemplo, copépodos (un tipo de crustácaeo), nemátodos (gusanos no segmentados), y foraminíferos (organismos unicelulares con concha calcárea externa). Actualmente, los términos meiobentos y meiofauna se consideran sinónimos (Giere, 2009) y se usan indistintamente. Los animales de la meiofauna se caracterizan principalmente por su tamaño diminuto, usualmente en un intervalo entre medio milímetro y 0.036 mm. Otras características de la meiofauna son que desarrolla todo su ciclo de vida sobre o entre los granos de sedimento, tiene altas tasas de reproducción, posee tiempos generacionales cortos, y carece de estadios larvarios pelágicos (fases tempranas del desarrollo de algunos organismos marinos como crustáceos, moluscos y peces, en toda la extensión vertical del agua desde la superficie hasta el fondo del mar), por lo que tienen una capacidad de dispersión muy limitada (Bongers y Ferris, 1999; Giere, 2009).

Respecto a la diversidad del grupo, 24 de los 32 phyla (una de las categorías taxonómicas más altas en las que se divide a los seres vivos) que componen al reino Animalia, son o pertenecen exclusivamente a la meiofauna o poseen miembros que forman parte de estas comunidades, y

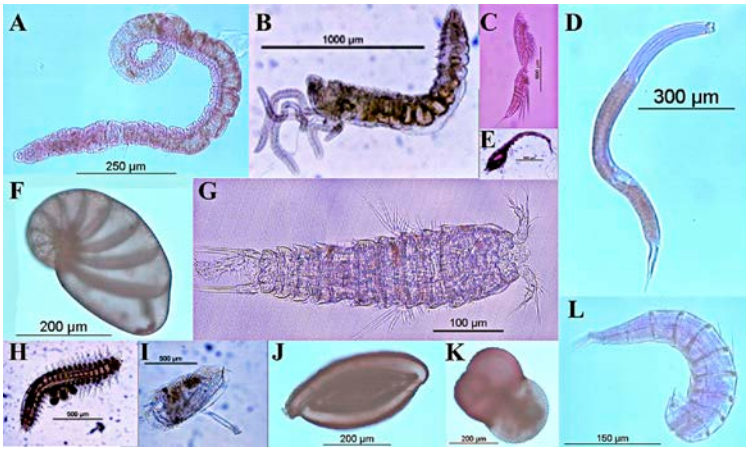


Figura 1. Organismos que forman parte de la meiofauna. A: Oligochaeta; B y H: Polychaeta; C y G: Copepoda; D: Nematoda; E: Tanaidacea; F, J y K: Foraminifera; I: Ostracoda; L: Kinorryncha.

Figura 2. Interacciones de la meiofauna con otros organismos y procesos.

solamente ocho phyla no tienen representantes en la meiofauna (Worsaae *et al*., 2023).

Además de su alta diversidad (Figura 1 y Tabla 1), la meiofauna se caracteriza también por su abundancia (de hasta millones de organismos por metro cuadrado) y por su ubicuidad (se distribuye en prácticamente todos los ecosistemas acuáticos). Así, miembros de la meiofauna pueden estar presentes en ambientes dulceacuícolas (epicontinentales y subterráneos), lagunares-estuarinos; en ambientes marinos, desde los polos hasta los trópicos, y en un alto rango altitudinal, demostrando con ello una gran capacidad adaptativa a las distintas condiciones ambientales.

La meiofauna juega un papel crucial en los ecosistemas acuáticos debido a su posición única y a sus interacciones con otros organismos y procesos dentro del ambiente físico-químico (Figura 2). Aunque se trata de animales con un tamaño diminuto, su influencia en la trama trófica de los ecosistemas es significativa. Se ha demostrado que los grupos que conforman la meiofauna sirven de alimento a organismos más grandes, muchos de ellos de importancia comercial, como bivalvos, crustáceos

Phylum	Subphylum	Clase	Subclase	Orden	Nombre común
Annelida	-	Polichaeta	-	-	Poliquetos
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Eumalacostraca	Amphipoda	Anfípodos
-	-	-	-	Cumacea	Cumáceos
-	-	-	-	Isopoda	Isópodos
-	-	Hexanauplia	Copepoda	Harpacticoida	Copépodos
-	-	Ostracoda	-	Myodocopida	Ostrácodos
Brachiopoda	-	Craniata	-	Craniida	Conchas lámpara
Bryozoa	-	Stenolaemata	-	Cyclostomatida	Animales musgo
Chaetognatha	-	Sagittoidea	-	Aphragmophora	Gusanos flecha
Cnidaria	Anthozoa	-	-	-	Corales, anémonas, medusas, mixozoos
-	Medusozoa	-	-	-	-
-	Endocnidozoa	-	-	-	-
Cycliophora	Eucycliophora	-	-	Symbiida	Ciclióforos
Entoprocta	-	-	-	Solitaria	Entoproctos
Echinodermata	-	Echinoidea, Asteroidea, Ophiuroidea	-	-	Erizos, estrellas, ofiuros
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
Gastrotricha	-	-	-	Macrodasyida	Gastrotricos
Gnathostomulida	-	-	-	Bursovaginoidea	Gnatostomúlidos
Hemichordata	-	Enteropneusta	-	-	Hemicordados
Kinorhyncha	-	Cyclorhagida	-	-	Quinorrincos
Loricifera	-	-	-	Nanaloricida	Loricíferos
Micrognathozoa	-	-	-	-	Micrognatozoos
Mollusca	-	Caudofoveata	-	Chaetodermatida	Quetodermos
-	-	Bivalvia	-	Limoida	Bivalvos
Nematoda	-	Adenophorea	-	Desmodorida	Nematodos
Nemertea	-	Hoplonemertea	-	Monostilifera	Nemertinos
Platyhelminthes	-	Rhabditophora	-	Proseriata	Gusanos planos/ planarias
-	-	-	-	-	-
Priapulida	-	-	-	Meiopriapulomorpha	Priapúlidos
Rotifera	-	Monogononta	-	Bdelloidea	Rotíferos
Tardigrada	-	Heterotardigrada	-	Arthrotardigrada	Tardigrados, osos de agua
Urochordata	-	Ascidiacea	-	Enterogona	Tunicados o urocordados
Xenacoelomorpha	-	-	-	-	Xenacelomorfos

Tabla 1. Phyla que conforman la meiofauna (en negritas los que son exclusivos de la meiofauna). Adaptado y modificado de Worsaae *et al*., 2023.

y peces (Coull, 1990). Dentro de las funciones más importantes que desempeña la meiofauna en los ecosistemas bentónicos (áreas del fondo marino que sirven de hábitat para distintos organismos) figuran la bioturbación, es decir, la alteración del sedimento marino, la remineralización de nutrientes y la activación de los ciclos geoquímicos (Bonaglia *et al*., 2014). Sin embargo, la meiofauna también está amenazada por la actividad humana.

La contaminación de los cuerpos de agua tiene un impacto profundo en la diversidad, abundancia y distribución de estas comunidades microscópicas (Osuna-Flores y Riva, 2002). Entre las causas directas de la contaminación se encuentra el crecimiento poblacional y las actividades económicas asociadas con la producción de desechos agrícolas, vertidos industriales y urbanos, y derrames de hidrocarburos.

Figura 3. Consecuencias de las perturbaciones sobre la meiofauna.

¿QUÉ PASA CON LA MEIOFAUNA ANTE LOS DISTURBIOS AMBIENTALES?

Con el paso de los años hemos sido testigos de diversas acciones antropogénicas que se han desarrollado en los océanos, por ejemplo, derrames accidentales de hidrocarburos, vertido de aguas negras y de irrigación, construcción de fábricas en zonas costeras.

La meiofauna responde ante las distintas perturbaciones antropogénicas, y esta respuesta se puede evaluar en términos de su resiliencia, es decir, de la capacidad de una población o ecosistema afectado para renovarse, reorganizarse y persistir (Holling, 1973).

Los efectos pueden ser examinados en el corto plazo al analizar los impactos adversos sobre los organismos de la meiofauna.

En particular, los cambios en la abundancia y la diversidad causados por la contaminación acuática dependen directamente del tipo y concentración de los contaminantes que ingresan al sistema y de las condiciones locales (Figura 3).

Estimar la diversidad es uno de los retos en el estudio de la meiofauna debido a su alta variedad y abundancia. Ello implica mucho tiempo de trabajo bajo el microscopio y requiere de un conocimiento notable de la biología de los invertebrados que componen estas comunidades.

Para enfrentar estas limitaciones, se han inventado recientemente herramientas poderosas de análisis moleculares como el *metabarcoding*. Esta técnica ha permitido cuantificar la diversidad a partir de la identificación de los taxa (clases, órdenes, familias, géneros, especies) presentes en una muestra. Las muestras pueden provenir de cualquier ambiente perturbado, como el aire, el agua, los suelos o los sedimentos marinos.

El *metabarcoding* se basa en la secuenciación de ciertas regiones específicas del ADN o ARN, las cuales actúan como un tipo de "código de barras" específico para cada especie.

Posteriormente, las secuencias obtenidas pueden ser comparadas usando análisis bioinformáticos con bases de datos genéticos para determinar la identidad y abundancia relativa de los taxa en la muestra. Esta metodología ha permitido estudiar grupos taxonómicos difíciles de muestrear y de identificar como copépodos, nemátodos y ácaros.En general, estudios que combinan técnicas clásicas de microscopía y tecnologías de ADN han demostrado la utilidad de la meiofauna para monitorear el impacto del cambio climático y otras actividades antrópicas.

INICIATIVAS QUE INVOLUCRAN A LA MEIOFAUNA EN EL MANTENIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

1. Fomentar la educación y la conciencia pública sobre la relevancia de la meiofauna y de la fauna acuática en general, para contribuir a su preservación y al cuidado del ambiente. Esto se puede lograr a corto, mediano y largo plazo a través de charlas de divulgación científica, talleres y visitas a los centros de investigación. También es importante la participación de diversos actores sociales, tomadores de decisiones, organismos gubernamentales y empresas privadas cuya presencia y participación son fundamentales para la preservación de la estabilidad y el buen funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.

2. Como demostraron los estudios mencionados en líneas anteriores, los monitoreos de manera regular sobre parámetros fisico-químicos como conductividad, pH, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y contenido de materia orgánica, nos brindan información significativa sobre las probables afectaciones al medio acuático, a la salud, al comportamiento y distribución de la meiofauna.

3. Es necesaria la planificación de investigaciones sobre la ecología de la meiofauna y sus interacciones con otros grupos de los ecosistemas acuáticos, como el plancton y la vegetación costera.

4. Controlar la contaminación para reducir los contaminantes que ingresan en los ecosistemas acuáticos y así evitar el impacto sobre los sedimentos donde habita la meiofauna.

5. Evitar en lo posible perturbaciones físicas ejercidas directamente sobre el fondo marino, como dragados o excavaciones que afectan no solo a la meiofauna, sino también a otros organismos del ecosistema bentónico. Ejemplos de este tipo de actividades son la minería submarina, la construcción de plataformas petroleras de extracción fijadas al lecho marino, y el dragado de los fondos para la creación de canales y puertos.

6. Mantener la diversidad biológica del bentos en los ambientes acuáticos, incluyendo a la meiofauna, pues las interacciones entre estas comunidades conforman los fundamentos de la trama trófica y tienen un efecto directo sobre el bienestar humano.

REFERENCIAS

Bonaglia S, Nascimento FJA, Bartoli M, Klawonn I and Brüchert V (2014). Meiofauna increases bacterial denitrification in marine sediments. *Nature Communications* 5:5133.

Bongers T and Ferris H (1999). Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology & Evolution* 14(6):224-228.

Coull BC (1990). Are members of the meiofauna food for higher trophic levels? *Transactions of the American Microscopical Society* 109 (3):233-246.

Giere O (2009). *Meiobenthology: The microscopic motile fauna of aquatic sediments*. Second Ed., Springer-Verlag, Berlin.

Holling CS (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:1-23.

Mare MF (1942). A study of a marine benthic community with special reference to the microorganisms. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 25:517-554.

Osuna-Flores I and Riva MC (2002). Organochlorine Pesticide Residue Concentrations in Shrimps, Sediments, and Surface Water from Bay of Ohuira, Topolobampo, Sinaloa, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 68:532-539.

Worsaae K, Vinther J and Sørensen MV (2023). Evolution of Bilateria from a meiofauna perspective –miniaturization in the focus. En Giere, O. y Schratzberger, M. (Eds.) *New horizons in meiobenthos Research*. *Profiles, patterns and potentials*. (pp. 1-31). Springer, Switzerland.

Leonardo García-Vázquez
Samuel Gómez
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
Unidad Académica Mazatlán
leonvz@ola.icmyl.unam.mx

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2020.

www.elementos.buap.mx

El cambio climático y la ganadería en México

César Augusto **de la Cruz López**

La ganadería, un pilar esencial de la economía global, desempeña un papel vital en la provisión de alimentos y el sustento a millones de personas. Sin embargo, esta industria también es una fuente considerable de gases de efecto invernadero (GEI), que son los principales contribuyentes al cambio climático.

En México, la ganadería tiene una importancia económica significativa, especialmente en las regiones tropicales húmedas. A pesar de su importancia económica, esta actividad también contribuye al cambio climático a través de la emisión de GEI.

En este escenario, es fundamental comprender cómo los sistemas ganaderos pueden adaptarse y mitigar el cambio climático. Desde una perspectiva científica, la ganadería puede ser vista como un sistema complejo que interactúa con el medio ambiente de formas diversas y a menudo desafiantes (Alexandre *et al*., 2021).

La emisión de GEI es una de estas interacciones, y su gestión eficaz requiere un entendimiento profundo de los procesos biológicos y químicos involucrados. Al mismo tiempo, la adaptación al cambio climático implica ajustes en las prácticas ganaderas para minimizar su impacto ambiental y maximizar su resiliencia frente a las condiciones cambiantes.

Figura 1. Medidas para la prevención y emisión de GEI en la ganadería. (Elaboración propia).

IMPACTO DE LA GANADERÍA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

La ganadería tiene un papel significativo en el cambio climático a través de varias vías. En primer lugar, los rumiantes como las vacas y las ovejas, como resultado de su proceso digestivo generan metano, un gas de efecto invernadero particularmente potente. En segundo lugar, la producción de alimentos para estos animales requiere grandes extensiones de tierra y cantidades considerables de agua, lo que puede resultar en deforestación y pérdida de biodiversidad. En tercer lugar, el transporte de animales y productos derivados también contribuye a las emisiones de carbono.

El trópico húmedo de México, conocido por su alta biodiversidad (Lara-Pérez *et al*., 2023) y productividad, alberga una variedad de sistemas ganaderos que van desde la ganadería extensiva tradicional hasta sistemas más intensivos y tecnificados. Estos sistemas enfrentan varios desafíos debido al cambio climático.

El cambio climático tiene un impacto considerable en la ganadería.

Las variaciones en las precipitaciones y las temperaturas pueden afectar la disponibilidad y calidad del pasto, así como la salud y productividad del ganado (Murray-Tortarolo y Jaramillo, 2019).

Ya hemos dicho que lo contrario también es cierto: la ganadería contribuye al cambio climático a través de la emisión de GEI, principalmente metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O).

SISTEMAS GANADEROS: MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN

Existen diversas estrategias para mitigar el impacto de la ganadería en el cambio climático.

Entre ellas están la mejora de la eficiencia en la producción animal, la transición hacia fuentes de alimento más sostenibles y la reducción del consumo de carne.

Además, los agricultores pueden adaptarse al cambio climático adoptando prácticas agrícolas que sean resilientes a las variaciones climáticas (Figura 1).

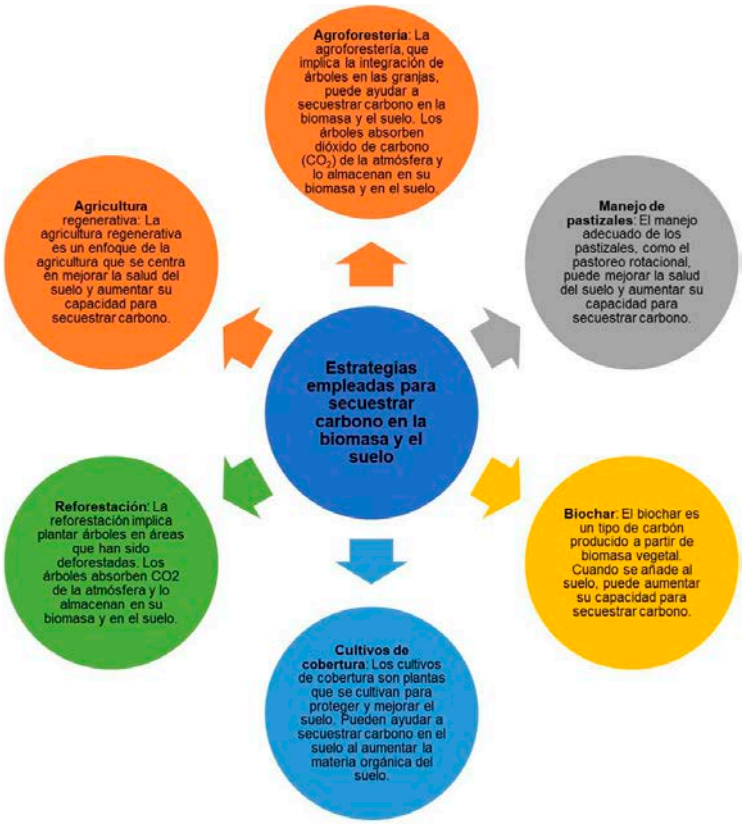


Figura 2. Estrategias empleadas para mejorar la captura y almacenamiento de carbono en la biomasa y en el suelo. (Elaboración propia).

En cuanto a la adaptación al cambio climático, los sistemas ganaderos pueden implementar una serie de estrategias.

Estas pueden incluir la mejora genética del ganado para incrementar su resistencia al calor y a las enfermedades, una gestión mejorada de los pastos para aumentar su resistencia a la sequía, y la implementación de prácticas agroforestales para mejorar la resiliencia del sistema en su conjunto.

Los sistemas ganaderos, además de adaptarse al cambio climático, pueden hacer una contribución significativa a su mitigación. Esto se puede lograr a través del uso de tecnologías que ayuden a la reducción de las emisiones de GEI que se puede obtener mediante técnicas de manejo del estiércol que reduzcan las emisiones de metano y sistemas de alimentación mejorados para el ganado.

Por otra parte, la adopción de prácticas agroforestales que combinan la producción agrícola con el manejo forestal para aumentar la captura de carbono en la biomasa vegetal y el suelo contribuye a la mitigación del cambio climático. La captura y el almacenamiento de carbono son elementos esenciales en la industria ganadera, ya que constituyen un punto de partida para mitigar el impacto ambiental que esta actividad genera (López-Hernández *et al*., 2023).

No obstante, existen mecanismos inherentes a la ganadería que, en combinación con el componente arbóreo y los recursos disponibles en el lugar, optimizan su eficiencia. Los sitios dedicados a la ganadería poseen una capacidad superior para almacenar carbono tanto en la biomasa como en el suelo.

Estos mecanismos, que se encuentran intrínsecamente ligados a la actividad ganadera, permiten una mayor eficiencia en la captura y almacenamiento de carbono.

Esto se debe a la interacción entre la ganadería y el componente arbóreo, que juntos aprovechan los recursos disponibles en el lugar para maximizar la captura de carbono.

Además, los sitios dedicados a la ganadería tienen una mayor capacidad para almacenar carbono, no solo en la biomasa, sino también en el suelo (Figura 2).

Figura 3. Principales paisajes ganaderos con árboles dispersos en potreros (a) y cercas vivas (b) en Centro, Tabasco. Fotografía: César Augusto De la Cruz López.

Esto significa que estos lugares pueden actuar como sumideros de carbono, absorbiendo más carbono del que emiten, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático. Por lo tanto, es fundamental reconocer y aprovechar estos mecanismos para mejorar la sostenibilidad de la industria ganadera. Al hacerlo, podemos reducir el impacto ambiental de la ganadería y contribuir a la lucha contra el cambio climático. Para que estas estrategias sean efectivas es necesario mejorar las prácticas ganaderas, lo que puede incluir la adopción de tecnologías más eficientes para el manejo del ganado.

La combinación de una gestión ganadera eficaz y la adopción de prácticas agroforestales pueden ser estrategias efectivas para reducir las emisiones de GEI y mitigar el cambio climático.

ESTRATEGIAS PARA UN FUTURO SOSTENIBLE DE LA GANADERÍA EN MÉXICO

La ganadería es una parte integral de la economía mexicana, y proporciona empleo e ingresos a millones de personas.

Sin embargo, también es una fuente importante de GEI que contribuyen con aproximadamente el 30 % de todas las emisiones antropogénicas (Villanueva-López *et al*., 2016).

Por lo tanto, es crucial encontrar formas de reducir las emisiones de GEI de la ganadería, sin comprometer la contribución de esta actividad a la economía ni su transición a sistemas de producción más limpia. Una estrategia fundamental para la ganadería en México es el desarrollo e implementación de políticas públicas que incentiven a los productores a adoptar prácticas más resilientes con el medio ambiente y los ecosistemas.

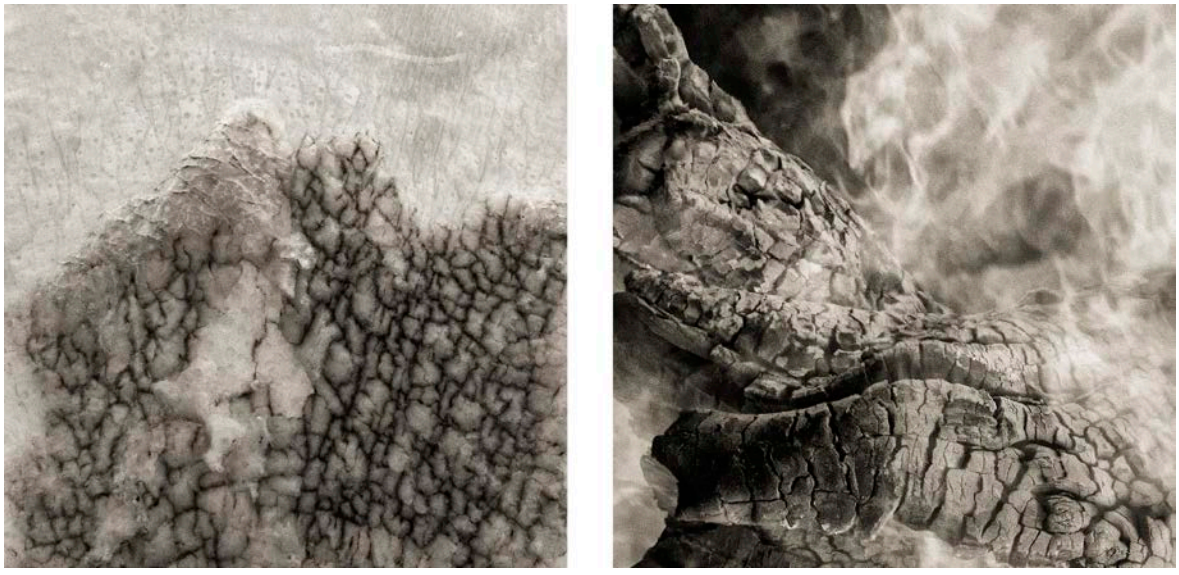
Esto puede incluir subsidios para la adopción de tecnologías más eficientes que incluyan el pago por servicios ambientales, así como regulaciones que requieran la reducción de las emisiones de GEI de las prácticas ganaderas.

Los sistemas silvopastoriles son una estrategia de producción más limpia para la ganadería, ya que ayudan a prevenir la degradación de los ecosistemas terrestres utilizados para la ganadería.

Además, estos sistemas previenen la contaminación, aumentan y mejoran la productividad del sistema, y aumentan la contribución económica a las familias dedicadas a la ganadería (Rodríguez-Moreno *et al*., 2022).

Los sistemas silvopastoriles intensivos e integrados promueven el uso racional del agua y la conservación de recursos naturales; ejemplo de ellos son los sistemas silvopastoriles con árboles dispersos en potreros y cercas vivas (Figura 3).

Esto se hace con el objetivo de reducir la huella ambiental y tener un menor impacto ambiental,



© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 16. Díptico, fotografía digital, 2019.

lo que resulta en un menor riesgo para la salud de los animales, las personas y los ecosistemas. Los sistemas silvopastoriles representan una estrategia efectiva para una ganadería más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Finalmente, es importante destacar que estas estrategias deben ser acompañadas por un esfuerzo continuo para aumentar la conciencia pública sobre el impacto del cambio climático y el papel que juega la ganadería en este problema.

A través de la educación y el compromiso público, podemos fomentar un cambio hacia prácticas más sostenibles en la industria ganadera. Aunque los sistemas ganaderos en México se enfrentan a desafíos significativos debido al cambio climático, existen estrategias viables para adaptarse a estos cambios y mitigar su impacto. A través de la investigación científica, las políticas y el compromiso públicos, podemos asegurar un futuro sostenible para la ganadería en México.

REFERENCIAS

Alexandre G, Rodriguez L, Arece J, Delgadillo J, Garcia GW, Habermeier K, Almeida AM, Fanchone A, Gourdine JL and Archimède H (2021). Agroecological practices to support tropical livestock farming systems: a Caribbean and Latin American perspective. *Tropical Animal Health and Production* 53(1):111.

Lara-Pérez LA, Villanueva-López G, Oros-Ortega I, Aryal DR, Casanova-Lugo F and Ghimire R (2023). Seasonal variation of arthropod diversity in agroforestry systems in the humid tropics of Mexico. *Arthropod-Plant Interactions* 17:799-810

López-Hernández JC, Aryal DR, Villanueva-López G, Pinto-Ruiz R, Reyes-Sosa MB, Hernández-López A, Casanova-Lugo F, Venegas-Venegas JA, Medina-Jonapa FJ, Guevara-Hernández F and Ghimire R (2023).

Carbon storage and sequestration rates in Leucaena leucocephala-based silvopasture in Southern Mexico. *Agroforestry Systems* (november 2023).

Murray-Tortarolo GN and Jaramillo VJ (2019). The impact of extreme weather events on livestock populations: the case of the 2011 drought in Mexico. *Climatic Change* 153(1-2):79-89.

Rodríguez-Moreno OG, Nahed-Toral J, Guevara-Hernández F, Alayón-Gamboa JA y Grande-Cano JD (2020). Historia y caracterización técnica y socioeconómica de la ganadería bovina en la costa de Chiapas, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23(2).

Villanueva-López G, Martínez-Zurimendi P, Ramírez-Avilés L, Aryal DR y Casanova-Lugo F (2016). Live fences reduce the diurnal and seasonal fluctuations of soil CO2 emissions in livestock systems. *Agronomy for Sustainable Development* 36(1):23.

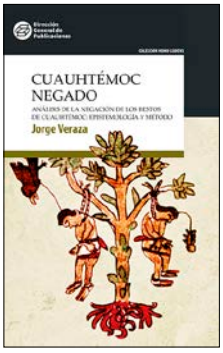
César Augusto de la Cruz López
El Colegio de la Frontera Sur
Unidad Villahermosa
cesar.delacruz@posgrado.ecosur.mx

© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2019.

www.elementos.buap.mx

Cuauhtémoc*

Julio **Glockner**

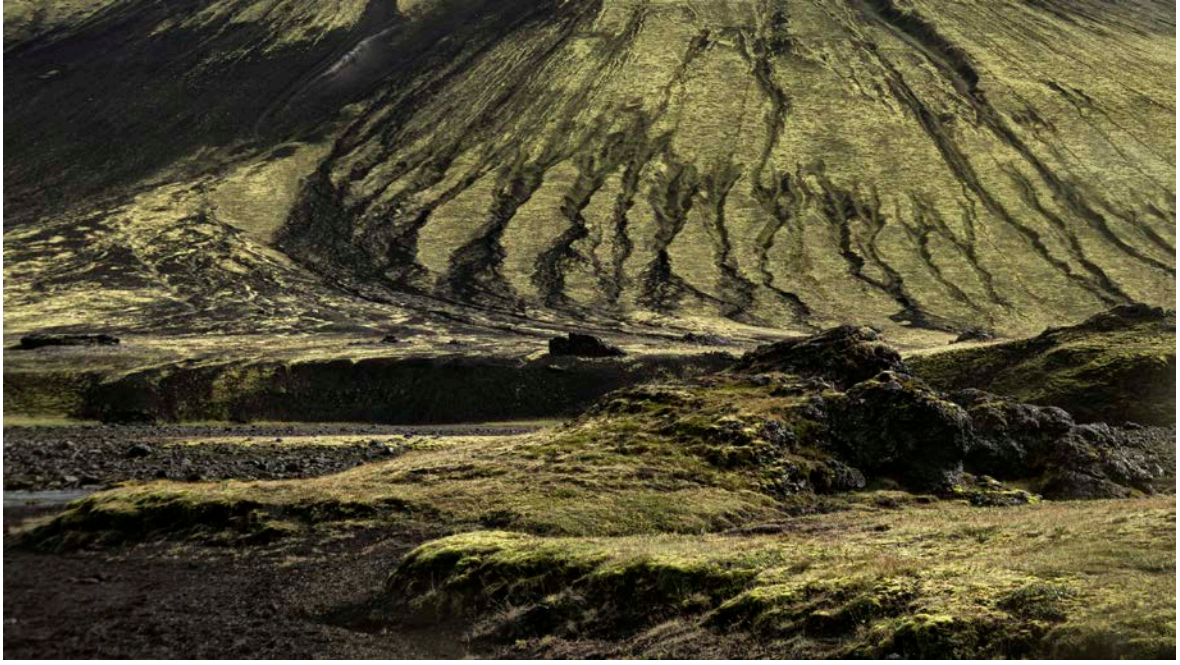


CUAUHTÉMOC NEGADO
ANÁLISIS DE LA NEGACIÓN DE LOS RESTOS
DE CUAUHTÉMOC:
EPISTEMOLOGÍA Y MÉTODO
Jorge Veraza
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
México, 2023

Decía Enrique Florescano, ese magnífico historiador y excelente amigo, que proveer a un pueblo de un pasado común y fundar en ese origen una identidad colectiva, es quizá la más antigua y la más constante función social de la historia. Sin memoria no hay ser, identidad o pasado que arraigue a los pueblos y a los individuos en el presente.

Hace 73 años, en noviembre de 1951, Octavio Paz escribió un breve texto sobre Cuauhtémoc, en él decía que la voluntad de futuro pone de pie a los muertos e impone un orden a sus obras. Ese es justamente el propósito de este libro de Jorge Veraza: volver con los pasos de la maestra Eulalia Guzmán a la tumba de Ixcateopan y desenterrar nuevamente, con sus argumentos, los restos del último Tlatoani mexica para colocarlos a la luz del análisis y la razón contemporáneas. Las tesis de la maestra Guzmán han sido desechadas con cierta ligereza en favor de teorías oficiales que se han venido repitiendo durante décadas. El paciente y minucioso análisis que lleva a cabo Veraza tanto de los argumentos de Eulalia Guzmán y el equipo de investigación que la acompañó, como de sus detractores, no puede ser más preciso y convincente, de modo que este libro es también una forma de honrar la memoria de la maestra Guzmán, de Alonso Quirós Cuarón y del rigor científico con el que llevaron a cabo sus investigaciones, tan injusta y superficialmente descalificadas. Reivindicar su trabajo es la palabra justa, pues ella fue difamada, menospreciada y ofendida hasta lograr su desvanecimiento en la memoria académica. La reparación de esa injusticia ideológica

** Presentación en la Feria del libro de Minería, 2 de marzo de 2024.*



© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2013.

cometida contra una mujer ejemplar es el motivo central de las páginas que el lector tiene en sus manos.

Jorge Veraza ha puesto el dedo en la llaga de la credibilidad científica cuando afirma que el tema del entierro de Cuauhtémoc en Ixcateopan no se reduce a un asunto de "huesos", sino del rigor científico con el que los restos y su entorno fueron examinados, y aún más, nos remite a la historia patria, la resistencia indígena y la identidad colectiva de los pueblos originarios. Es muy probable, en eso confío, que este libro estimule nuevamente un debate que no por haber sido hábilmente soterrado, ha sido definitivamente sepultado.

Nos acercamos al quinto centenario del vil asesinato del joven guerrero que fue ahorcado en la selva de Campeche. A propósito de este crimen Bernal Díaz del Castillo escribió lo siguiente en la Historia verdadera de la conquista de la Nueva España:

> Verdaderamente yo tuve gran lástima de Guatemuz y de su primo, por haberles conocido tan grandes señores, y aun ellos me hacían honra en el camino en cosas que se me ofrecían, en especial darme algunos indios para traer yerba para mi caballo. Fue esta muerte que les dieron muy injusta, y pareció mal a todos los que íbamos.

Retomo las palabras de Octavio Paz para decir que Cuauhtémoc y Cortés están vivos en nuestra imaginación como mexicanos y no dejan de luchar en el interior de cada uno de nosotros: negar a uno es negar al otro y negarnos a nosotros mismos.

Nosotros, los mexicanos contemporáneos, somos los que tenemos que decir las palabras finales del diálogo mortal que iniciaron Cuauhtémoc y Hernán Cortés. El libro de Veraza es una aportación más a la configuración de ese diálogo.

No podemos reducir la historia al tamaño de nuestros rencores, dice con razón Octavio Paz, pero tampoco podemos reducirla al tamaño de los prejuicios racistas y clasistas que se han venido repitiendo durante siglos, atendiendo casi exclusivamente a fuentes hispanistas.

Permítanme detenerme un momento en el concepto del hispanismo:

¿Qué quiere decir eso de hispanismo? El historiador Ricardo Pérez Montfort nos lo explica en su libro Hispanismo y Falange. Los sueños imperiales de la derecha española, diciendo que el hispanismo es la combinación de las ideas imperiales de la época de Carlos V con los fundamentos de una supuesta cultura madre, que dan por resultado la creencia de una "gran familia", "comunidad" o "raza" trasatlántica, que distingue a los pueblos que en su momento pertenecieron a la Corona Española.

© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Fotografía digital, 2019.

De ahí se deriva la idea de una "patria espiritual" y de una jerarquía en la que los pueblos colonizados deben reconocer a España como la creadora de su propio ser. Esta pretensiosa idea se sostiene a partir del siguiente razonamiento: los territorios conquistados y colonizados por los españoles obtuvieron su "definición espiritual" gracias a su contacto con España a través de conquistadores, colonizadores y evangelizadores peninsulares y por lo tanto deben ver a la generadora de su humanidad como "la madre patria".

De modo que, según los hispanistas, España nunca ha abandonado un tutelaje espiritual con los que fueron sus territorios, y aun después de la independencia de estos, su presencia espiritual se mantiene intacta, dándole a España una especie de autoridad moral sobre las naciones independientes. De esta manera, el hispanismo rechaza prácticamente todas las contribuciones de los pueblos originarios a la conformación de las nuevas naciones. En buena medida estas ideas predominaron y continúan predominando en algunos sectores intelectuales y en la historiografía de la época en que la maestra Eulalia Guzmán realizó el hallazgo de los restos de Cuauhtémoc.

Estas ideas hispanocentristas están expuestas, por ejemplo, en un video difamatorio elaborado por una autodenominada "Sociedad Cervantina", que se monta sobre el prestigio del creador del Quijote para decir tonterías y repetir argumentos falsos que son examinados cuidadosamente en el este libro de Jorge Veraza. La perspectiva hispanista se ha confrontado una y otra vez con una perspectiva indigenista que busca valorar y equilibrar las aportaciones de las dos grandes corrientes civilizatorias que se enfrentaron desde el siglo XVI: la mesoamericana, que Guillermo Bonfil llamó del México profundo, y la que hoy denominamos Occidental. Sabemos que con la independencia de España surgió la necesidad de construir una historia patria que revalorara el pasado indígena ignorado o difamado durante el periodo virreinal. Pero la construcción de la narrativa histórica de la Conquista española, disponía únicamente de los textos escritos por los propios cronistas españoles, ya fuesen soldados, como Hernán Cortés o Bernal Díaz de Castillo, o religiosos como Bernardino de Sahagún o Toribio de Benavente, Motolinía. Es decir, la historia de la Conquista estaba profundamente influenciada por la cosmovisión judeocristiana y se expresaba en un discurso salvífico que relataba la intervención de la Divina Providencia, es decir, la intervención de Dios en los asuntos humanos, guiando paso a paso a los invasores españoles en su empresa de sometimiento material y espiritual de las poblaciones indígenas

con la espada y la cruz. Con toda razón dice Guy Rozat que los supuestos relatos indígenas de la conquista no son textos históricos, sino textos teológicos que deben ser leídos y tratados como tales.

La historiografía mexicana, siempre sustentada en los textos hispanistas, se ha permitido algunas libertades producto de una imaginación que confronta al heroico Cuauhtémoc con la figura retorcida que nos han entregado de un Moctezuma cobarde, temeroso y supersticioso. Tal es el caso de Alfredo Chavero quien elogia a "el joven y valeroso Cuauhtémoc que excitó a los guerreros a no obedecer a Moctezuma llamándolo con soberbio desprecio manceba de los españoles".[1]

En agosto de 1887 se inaugura el monumento a Cuauhtémoc en el Paseo de la Reforma y el mismo Alfredo Chavero equipara a Porfirio Díaz con el heroico mexica en su discurso diciendo lo siguiente:

> Señor presidente, ha *más de tres y media centurias que el gran Cuauhtemotzin* caía en la ciudad de México en poder de Hernando Cortés, capitán del emperador austriaco Carlos V; y hace veinte años que, tras cruenta lucha con uno de los descendientes del mismo Carlos V, recobráis para la patria la ciudad de México, y se os entregaban presos en el palacio nacional los soldados austriacos. Vos le habéis dado la revancha a Cuauhtémoc; de derecho os toca descubrir su estatua. (Ibid., p. 26)

Josefina García Quintana hace un recuento de la creciente importancia de Cuauhtémoc en el siglo XIX, que llegó al grado de fundar una cervecería con su nombre y los dueños, empresarios de Monterrey, enviaron una estatua del héroe a la exposición industrial de Chicago en 1893; Porfirio Díaz, por su parte, adquirió en Nueva York un vapor al que bautizó con el nombre de Cuauhtémoc para enviarlo a combatir, no a invasores extranjeros, sino a los indios meyas que se rebelaron contra la esclavitud en que los mantenían los hacendados descendientes de españoles en la península de Yucatán.

Quiero decir con esto que Cuauhtémoc es un complejo simbólico de carácter polivalente que puede ser utilizado en un amplio campo semántico, según soplen los vientos ideológicos para un lado o para otro. De ahí la importancia del libro de Jorge Veraza, cuyo análisis, además de reivindicar las investigaciones de la maestra Eulalia Guzmán y su equipo, posiciona la figura de Cuauhtémoc como símbolo de la resistencia indígena de ayer y de hoy.

Este propósito no es un asunto menor ni exclusivamente académico: el hecho es que tenemos un esqueleto expuesto en Ixcateopan y se debe decidir si son o no los restos de Cuauhtémoc. La disputa, científica e ideológica se prolongará seguramente por tiempo indefinido. Es cada periodo histórico de esta disputa hubo y habrá un posicionamiento político que respalda lo que ese esqueleto representa simbólicamente: La persistente resistencia indígena, por un lado, o, por el otro, la derrota definitiva de los indios. Es decir, estamos ante un caso de eficacia simbólica:

1. En el primer caso, la resistencia encuentra en estos restos un sostén material que refuerza la memoria colectiva y reafirma su cobarde e injusto asesinato en lo profundo de la selva. Pero simultáneamente reivindica la actuación rebelde e intransigente de Cuauhtémoc ante el invasor y se convierte en un emblema de la resistencia de los pueblos originarios en la lucha por sus legítimos derechos.

2. En el segundo caso, negar que los restos son de Cuauhtémoc apuesta al olvido, al desvanecimiento de la memoria colectiva y, por lo tanto, a una derrota simbólica que subestima, implícitamente, la resistencia y la secular lucha de los pueblos indígenas. Sin dejar de atender a la veracidad de los argumentos y las pruebas, sobre todo las pruebas científicas, el nuevo periodo histórico en que vivimos deberá asumir la responsabilidad de reconocer si ese esqueleto es o no el del último emperador azteca.

NOTAS

[1] García Quintana Josefina, Cuauhtémoc en el siglo XIX, IIH-UNAM, México, 1977, p. 22.

Julio Glockner
julioglockner@yahoo.com.mx

© **Gabriela Torres Ruiz**. Limbs No. 1, fotografía digital, 2017.