

elementos

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA • No. 136 • Volumen 31 • octubre - diciembre 2024 • \$40.00

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

CONAHCYT



Aprende de los niños, siempre: en memoria de Valentina Glockner Fagetti | Las colecciones biológicas científicas en México | ¿Cómo describir las nuevas especies? | La luz y su efecto en las plantas | Fructanos de agave como prebióticos | Rarezas de la naturaleza: ¿plantas que comen carne? | Elictores agrícolas y la agricultura sustentable | *Pheidole*, las hormigas ahorradoras | Aminoácidos: ladrillos de la vida, trampa para un mayate | La ética en la investigación educativa | Obesidad y fertilidad femenina: opciones quirúrgicas | Mujeres, locura y ciencias psi | Las rutas del triptófano | Oxidación, la consecuencia inevitable de la respiración | Educación ambiental para la vida digna | Biocatálisis enfocada en la sostenibilidad | Los beneficios de revalorizar nuestros residuos | Pirólisis: la descomposición térmica de residuos | Lodos activados para el tratamiento del agua residual | ¿Es un sueño un sistema de alerta para mareas rojas? | Impresión 3D: innovación y sostenibilidad | De lo local al más allá: herramientas satelitales | Cómo se midió por primera vez el entrelazamiento cuántico | José Kuri Breña, escultor



© José Kuri Breña. *Cariátide*. Bronce a la cera perdida, sfp.

S U M A R I O



BUAP

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

ELEMENTOS

www.elementos.buap.mx

revista trimestral de ciencia y cultura

número 136, volumen 31, octubre-diciembre 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 (Instituto Politécnico Nacional),

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, © José Kuri Breña

Fotografías de Jorge Estévez Torres y Carlos Felipe Suárez

Portada, © *Rostro Marino*. Bronce a la cera perdida, 1991

2° de forros, © *Cariátide*. Bronce a la cera perdida, sfp

3° de forros, © *Rostro silvestre*. Fibra de vidrio, 1990

Contraportada, © *Revelación*. Fibra de vidrio, 1998

CINTILLO LEGAL

ELEMENTOS, Año 39, No. 136, octubre a diciembre 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 septiembre de 2024.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente

reflejan la postura del editor de la publicación.



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Aprende de los niños, siempre:
en memoria de Valentina Glockner Fagetti 3

Gabrielle Oliveira

Las colecciones biológicas científicas en México 7

Angélica María Hernández-Ramírez

¿Cómo describir las nuevas especies? 13

Alejandro Torres-Montúfar

La luz y su efecto en las plantas 17

Carlos Eligio Hernández-Navarrete, Humberto Aguirre-Becerra

Fructanos de agave como prebióticos 23

Mónica A. Robles-Arias, Alma E. Cruz-Guerrero

Rarezas de la naturaleza: ¿plantas que comen carne? 27

Paola Michelle Nuñez-Álvarez, Mayte Stefany Jiménez Noriega

José Kuri Breña, escultor 31

Violeta Tavizón Mondragón

Elicitores agrícolas y la agricultura sustentable 35

Noelia Isabel Ferrusquía Jiménez, Ramón Gerardo Guevara González

Pheidole, las hormigas ahorradoras 41

Leticia Ríos Casanova, César Maximiliano Vázquez Franco

Aminoácidos: ladrillos de la vida, trampa para un mayate 47

Luz Neri Benítez Herrera, David Alavez-Rosas

La ética en la investigación educativa 53

Yolanda González de la Torre

Obesidad y fertilidad femenina: opciones quirúrgicas 59

Angélica Trujillo Hernández, María Concepción Puga

Mujeres, locura y ciencias psi 65

Edith Villavicencio Castañeda

Las rutas del triptófano 71

Jorge Antonio Chávez Hernández, María del Carmen González Castillo

Oxidación, la consecuencia inevitable de la respiración 79

Luz María Nicio-Antonio, Juan Francisco Rodríguez-Landa

Educación ambiental para la vida digna 85

Adriana Flores Guevara, María Esther Méndez Cadena

Biocatálisis enfocada en la sostenibilidad 91

María Guadalupe Sánchez-Otero

Los beneficios de revalorizar nuestros residuos 99

Alejandra Torres Lara, Juan Fernando García Trejo

Pirólisis: la descomposición térmica de residuos 105

Elizabeth Ibarra-Lizárraga, David Ulises Santos-Ballardo

Lodos activados para el tratamiento del agua residual III

Monserrat Suárez García, David García Mondragón

¿Es un sueño un sistema de alerta para mareas rojas? 115

Cotsikayala Pacheco Ramírez

Impresión 3D: innovación y sostenibilidad 121

Francisco Jacob Ávila Camacho, Leonardo Miguel Moreno Villaiba

De lo local al más allá: herramientas satelitales 127

José Luis Pérez López, Susana Maza-Villalobos

Cómo se midió por primera vez
el entrelazamiento cuántico 133

A. Akari Uc Guerra, Giselle N. Morales Rosales



© José Kuri Breña. *Bambú haikú*. Bronce a la cera perdida, 1990.

Aprende de los niños, siempre: en memoria de Valentina Glockner Fagetti

Gabrielle **Oliveira**

¿Qué sucede cuando centramos las perspectivas, las acciones, las palabras, los juegos y las experiencias de los niños en la investigación? Esa fue la pregunta que mi querida amiga y antropóloga mexicana Valentina Glockner Fagetti me hizo en 2010, cuando nos conocimos en la ciudad de Nueva York. Acababa de asistir a una conferencia donde Valentina había presentado con pasión su trabajo sobre los niños jornaleros. Mi primera reacción al verla presentar fue pensar que una antropología pública de la infancia es posible. De hecho, puedes tener una profunda compasión y empatía al mismo tiempo que realizas el trabajo más desgarrador. La antropóloga Ruth Behar (1996) explicó ese sentimiento en su aclamado libro *The Vulnerable Observer*. Valentina lo llevó a cabo. Deconstruyó la idea misma de una separación de conocimientos entre adultos y niños, y se veía a sí misma no como investigadora, sino como aprendiz y defensora. Fue incansable.

Valentina encarnaba el género de la erudición pública rigurosa. Desde sus primeros escritos sobre migración e infancia cubrió temas como la migración indígena, el desplazamiento forzado, el trabajo infantil y el movimiento de niños y familias a través de las fronteras. Sus contribuciones fueron interminables. Al principio de su carrera, su tesis de licenciatura sobre las experiencias de los niños

mixtecos migrantes y trabajadores ganó dos de los premios nacionales más prestigiosos en antropología en México y fue publicada como libro en 2008: *De la montaña a la frontera: identidad, representaciones sociales y migración de los niños mixtecos de Guerrero*. Regreso a menudo a ese libro. Las historias de Maribel, Epifanio y Griselda, a quienes llegué a conocer tan íntimamente, han sido la base para gran parte de mi propia comprensión de la migración en las Américas.

Valentina escribió en la declaración de apertura del libro:

Por primera vez en mi experiencia como antropóloga y como ser humano, me había permitido entrar en el hogar y el corazón de una familia a la que no pertenecía. Con ellos llegué a crear lazos tan estrechos que en muchas ocasiones me hicieron cuestionar, no sin cierto temor, si el trabajo que había estado haciendo podía considerarse antropológico o no. (2008, 14).

Continuó haciéndose preguntas más complejas: “¿Cómo informo estos datos? ¿Cómo los escribo?” Su estrategia fue preguntarles a los niños cómo querían que se contaran sus historias.

Mientras buscaba mantenerse fiel a los niños como expertos de sus experiencias de vida, Valentina demostró una y otra vez su capacidad infinita para conectarse a través de culturas y países. En un capítulo del libro *Infancia y juventud en la India*, editado por Anandini Dar y Divya Kannan, reunió las experiencias de Rajni y Reina, dos niñas, una en India y la otra en México, para mostrar el trabajo infantil en un mundo neoliberal globalizado. Escribió:

Ambas, Rajni y Reina, viajan varios kilómetros a diario. Innumerables veces, se agachan, recogen lo que sus pequeñas y hábiles manos encuentran y lo ponen en un saco que cuelga en su cintura. Sus ojos expertos buscan lo que reconocen como valioso. Para ellas, recolectar vegetales o desechos reciclables no es una

elección, sino una cuestión de supervivencia. A pesar de vivir en dos países y regiones muy diferentes del llamado “Sur Global”, su trabajo se desarrolla de manera similar en los extremos de dos cadenas de valor multimillonarias que son esenciales para la economía global: la industria de producción de alimentos frescos y la industria de residuos reciclables. (2023, 162).

Valentina tenía la capacidad única de conectar las experiencias cotidianas de los niños con las macroestructuras sociales de nuestro mundo. Era intrépida en su capacidad para avanzar argumentos que exponían el papel de las políticas neoliberales en las vulnerabilidades y la supervivencia de los niños. Era como si tuviera más espacio dentro de ella para albergar historias que cualquier otro ser humano que haya conocido. ¿Cómo puede alguien contener tantas historias de belleza y sufrimiento dentro de su cuerpo? Valentina podía. En otro agudo artículo de tantos hermosos artículos, *Niños cruzando fronteras*, editado por Alejandra J. Josiowicz e Irasema Coronado, escribió sobre un concepto que he utilizado en mi propio trabajo al hablar sobre las experiencias de los niños migrantes en la frontera entre EE. UU. y México, lo que ella llamó “experiencias encarnadas de la frontera.”

Afirmo que la frontera como régimen y la experiencia de cruzar la frontera producen nuevas agencias individuales y colectivas, trayectorias de vida y significados profundamente sentidos e impregnados en los cuerpos, identidades y subjetividades de los jóvenes que cruzan. Por lo tanto, plantear la frontera como método y como “herramienta antropológica” nos permite interrogar las formas en que la frontera y el cruce fronterizo son sitios cruciales para la producción de experiencias y conocimientos individuales y colectivos. (2023, 129).

Honrando la idea de un colectivo, Valentina reunió a un grupo de académicas de toda América Latina en un equipo llamado Colectiva Infancias. Su visión era hacer nuestra erudición pública, útil y



© José Kuri Breña. Sin título. Dibujo al carbón, 1984.

significativa. Con el apoyo de la Fundación National Geographic, nuestro equipo construyó un mosaico de historias que se entrelazaban y mostraban el poder de la acción colectiva. A menudo me encuentro releendo sus palabras y encontrando nuevos significados en sus escritos. Sus descripciones estaban llenas de detalles, sus fotos eran retratos de la infancia y su análisis siempre era agudo y profundo. Valentina fue maestra, mentora y amiga de muchos.

Personalmente, me siento en deuda con Valentina. Ella es la razón por la que pude hacer trabajo de campo por primera vez en México en 2010. Sus padres, Julio Glockner y Antonella Fagetti, me acogieron y me enseñaron lo que significaba hacer una antropología comprometida. A menudo regreso a los últimos mensajes que intercambiamos por WhatsApp: notas de voz e ideas que ahora existen en un tiempo suspendido. Siempre que me quejaba del trabajo que elegí hacer como investigadora y de cuánto me rompía el corazón, solía decir: “Nuestra mayor rebelión es tratar de ser felices en este mundo desordenado”. Tratar de ser feliz era

un acto de resistencia, una forma de honrar a los niños y jóvenes que compartieron sus vidas con ella con tanto amor. Vale falleció repentinamente en diciembre de 2023. Nos abandonó demasiado pronto, pero dejó un legado equivalente a cien vidas vividas. No puedo pensar en un antropólogo de la infancia que haya dejado una marca más grande en mi trabajo que Valentina. Pero, sobre todo, ella fue madre, compañera, hija y la amiga más increíble que cualquiera podría pedir. ¡Te extraño!

R E F E R E N C I A S

Oliveira, Gabrielle (2024). Learn from children, always: In memory of Valentina Glockner Fagetti. *NEOS* 16 (1).

Enlace al original en inglés: <https://acyig.americananthro.org/neosvol16iss1spring24/oliveira/>.

Gabrielle Oliveira, PhD
Universidad de Harvard
gabrielle_oliveira@gse.harvard.edu



© José Kuri Breña. *Nautilus sirena*. Bronce a la cera perdida, 1988.

Las colecciones biológicas científicas en México

Angélica María **Hernández-Ramírez**

[...] Los coleccionistas se crean un mundo.
Se crean un pequeño mundo, eligen ciertos símbolos
del mundo real y los convierten en habitantes de su
mundo particular...

“Las Marismas”, Arnaldur Indridason

Las colecciones biológicas científicas son un acervo de material de referencia y de consulta sobre distintas formas de vida en la Tierra, y su preservación constituye evidencia de que existieron en nuestro planeta. En el presente artículo se revisa el estado actual, su valor inmaterial, los retos y vacíos de las colecciones en el país. Como propuesta de solución a los desafíos que enfrentan, se visibiliza el marco normativo que da sustento y protege las colecciones. Finalmente, se reconocen las innovaciones y la importancia de las colecciones biológicas científicas en el ámbito social, educativo y científico.

ESTADO ACTUAL DE LAS COLECCIONES BIOLÓGICAS CIENTÍFICAS

En México, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) es la instancia encargada del acopio de información y registro de las colecciones que se encuentran bajo resguardo de diversas instituciones académicas y no académicas (registro voluntario) de

carácter público y privado. Para la CONABIO, el registro de estas colecciones se vincula principalmente con la investigación, docencia, capacitación y difusión de la biodiversidad presente en territorio nacional conforme a la normatividad ambiental en el país (DOF, 2001). El material biológico contenido en estas colecciones es de distinta índole, por lo que puede diferenciarse entre material inerte y material vivo.

Históricamente, en México estas colecciones se han dirigido a la preservación de material que incluye cultivos de micro y macroorganismos (cepas), así como muestras de tejido animal y vegetal, hueso, piel, pelos, plumas, polen, semillas, fósiles, fotos y sonidos.

Con base en la información aportada por la CONABIO, en el año 2023 existían en el país 747 colecciones asociadas a 237 instituciones (CONABIO, 2023). De estos registros, las colecciones más antiguas datan de 1870 y corresponden a colecciones de mamíferos, aves, anfibios y reptiles como parte del Museo de Historia Natural Alfredo Dugès. El origen de este museo proviene del Gabinete de Historia Natural del Colegio del Estado de Guanajuato, inaugurado en 1941 (U de G, 2023). Su fundador fue el naturalista y médico Alfredo Dugès (1826-1910). En contraparte, la colección científica más reciente se registró en 2023 y corresponde a la colección de tejidos de vertebrados (anfibios, mamíferos, reptiles y aves) asociada a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

En México predominan las colecciones del tipo zoológico (57 %: animales vertebrados e invertebrados), seguidas de colecciones botánicas (34 %: fanerógamas o plantas con semillas y flores, criptógamas o con esporas), microorganismos (5 %: ceparios y bacterias), organismos saprófitos (3 %: hongos) y otros (1 %: fósiles, fotos, sonidos).

Dada su importancia para la ciencia y la educación, las universidades albergan el mayor número de colecciones (60 %), seguidas de órganos descentralizados como los Centros Públicos de Investigación Humanística y Científica o los Centros de Desarrollo Tecnológico e Innovación (34 %), así como por los órganos descentralizados sectorizados como

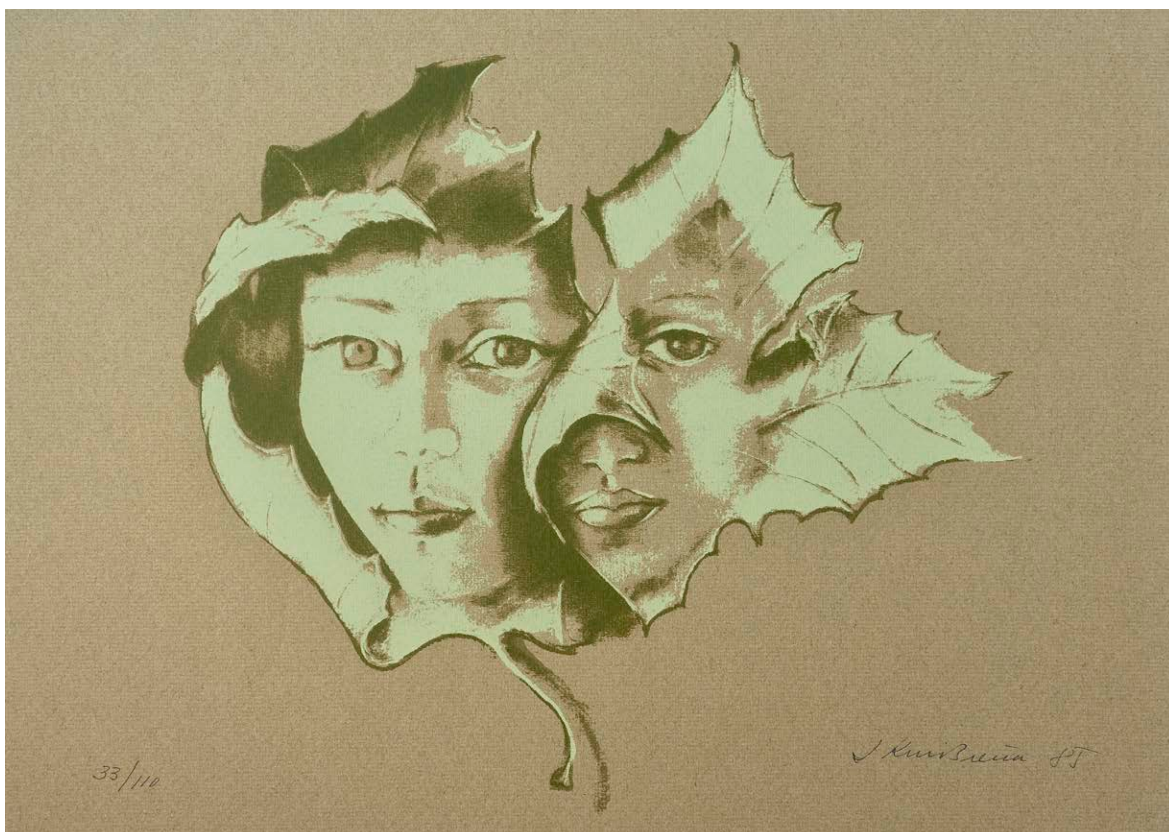
la Secretaría de Salud (6 %). En las universidades y centros públicos de investigación las colecciones se dirigen –aunque no exclusivamente– a las actividades de investigación, docencia y educación ambiental. No obstante, existen algunas colecciones con usos específicos, como la colección de artrópodos de interés forense vinculada a la UNAM.

Este tipo de colecciones refleja una diversificación y especialización en sus funciones con fines de satisfacer demandas sociales específicas (Pedraza-Lara, 2023). Asimismo, la Secretaría de Salud de México posee un catálogo y colección de artrópodos (dípteros) de importancia médica (vectores de enfermedades tropicales) provenientes de 20 entidades federativas del país (Godínez-Álvarez e Ibáñez-Bernal, 2010).

NÚMERO DE EJEMPLARES, COBERTURA GEOGRÁFICA Y CONFIABILIDAD

Con respecto al número de organismos presentes en estas colecciones, la mayor proporción de ejemplares se alberga en la UNAM (CONABIO, 2023). En dicha colección predominan los ejemplares pertenecientes al reino *Plantae* (1,218,493 ejemplares); el menor número de ejemplares que posee corresponde a los pepinos de mar, pertenecientes al filo Echinodermata del reino *Animalia* (dos ejemplares).

Con respecto a su cobertura geográfica, las colecciones albergan ejemplares colectados en territorio nacional. No obstante, muchas de estas colecciones poseen material proveniente de otras partes del mundo como resultados de las actividades de intercambio y préstamo de material con otras instituciones. Es por ello que estas colecciones poseen ejemplares con distribución estatal, regional, nacional, subcontinental, continental y mundial, tanto del ambiente terrestre como acuático (marino y dulceacuícola). Independientemente del número de ejemplares, el Herbario Graciela Calderón y Jerzy Rzedowski del Instituto de Ecología A. C., Centro Regional del Bajío, posee la mayor colección de plantas identificadas a nivel de especie (93 %), con un porcentaje de confiabilidad (confianza en su identificación) del 97 % (CONABIO, 2023). El trabajo de especialistas vinculado no solo con la colecta y registro, sino con la identificación



© José Kuri Breña. Serie *Otoño*. Serigrafía, 1985.

confiable de ejemplares, constituye fuentes de referencia de alto valor científico en el país.

EL VALOR INMATERIAL DE LAS COLECCIONES BIOLÓGICAS CIENTÍFICAS

El material presente en estas colecciones suele ser el objeto de valor comúnmente reconocido por especialistas y no especialistas en el tema. No obstante, este material posee un valor adicional relacionado con el trabajo de científicos que han contribuido en la colecta, montaje, etiquetado, donación, registro e identificación de los ejemplares que conforman las colecciones.

Al respecto, destaca el papel del botánico Jerzy Rzedowski Rotter (1926-2023), quien aportó material y fundó tres herbarios en el país. El aporte del doctor José Sarukhán Kermez a las colecciones biológicas y científicas en México incluye su labor como fundador de la CONABIO, que es la instancia encargada del acopio de información y del registro

de las colecciones biológicas científicas en el país. La lista de investigadores y científicos que han colectado, depositado e identificado los ejemplares actualmente albergados en las distintas colecciones del país es extensa, y su labor es invaluable, aunque pocas veces sea reconocida.

A este valor humano vinculado a la existencia del material científico preservado, se suma la labor de especialistas en curaduría, quienes no solo se encargan del registro, etiquetado e ingreso a catálogo de los ejemplares, sino de su mantenimiento, su proceso de preservación, del control de plagas y patógenos, así como del cuidado de las condiciones necesarias para el mantenimiento del material a largo plazo (luz, temperatura, higiene e infraestructura).

Por ello, en términos logísticos, toda colección cuenta con un curador o académico responsable, quien es especialista en el grupo de organismos de los que trata la colección.



© José Kuri Breña. Serie Otoño. Serigrafía, 1985.

LOS RETOS Y VACÍOS DE INFORMACIÓN

La Ley General de Vida Silvestre establece que el material biológico de vida silvestre, ya sea de organismos vivos o partes del mismo, debe ser registrado (DOF, 2000). La movilidad de dicho material en calidad de préstamo, donativo o intercambio también debe ser informado, así como la exportación e importación de ejemplares, partes y derivados de especies silvestres, por lo que las colecciones científicas requieren la autorización correspondiente y permisos de colecta.

Para 2023, la base de datos de la CONABIO permitió la consulta de información general de 77 registros (10 %) asociados a las colecciones biológicas científicas, mientras que el remanente de registros presente en la base de datos de la CONABIO (90 %) carece de información. La falta de información denota un problema de custodia de información de bienes que pertenecen a la nación, independientemente

de la sede que la resguarda, tal y como lo estipula la ley en el país. Es por ello por lo que el 90 % de las colecciones en el país ameritan atención.

SUSTENTO NORMATIVO Y ÁREAS DE OPORTUNIDAD

Las colecciones biológicas científicas poseen características idóneas para ser valoradas y protegidas como patrimonio documental y material de la biodiversidad en territorio nacional. Específicamente, a través de la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas se admite que las colecciones científicas y técnicas podrán reconocerse como monumentos históricos (DOF, 2004). Lo anterior en atención a que son bienes materiales destinados a la administración, divulgación, enseñanza o práctica dirigidos a la asistencia, beneficio o servicio público, así como al servicio de autoridades civiles o militares. Esta valoración y reconocimiento requieren ser formalizados a través de una declaratoria por parte de los gobiernos estatales, misma

que hasta la fecha no existe para ninguna colección científica en el país.

La Ley General de Bienes Nacionales (DOF, 1975) reconoce como bienes de la federación sujetos a su protección a aquellos muebles (objetos materiales) que por su naturaleza no son sustituibles. Dentro de estos muebles se citan las colecciones científicas o técnicas, especímenes tipo flora y fauna, fonogramas, archivos fotográficos y cualquier otro objeto que contenga imágenes y sonidos. La formalización de este tipo de reconocimientos para las colecciones se traduciría en un beneficio económico que permitiría afrontar los costos asociados al mantenimiento de dichos materiales, y que se canalizaría como gasto público a cargo de los gobiernos municipales y estatales. A la fecha, los gastos que conlleva el mantenimiento de las colecciones biológicas científicas los afrontan directamente las sedes a las que pertenecen las colecciones en el país (universidades, institutos, etcétera).

La base normativa asociada a las colecciones biológicas científicas en el país les otorga un valor simbólico adicional como acervo patrimonial a nivel estatal y nacional. Algunas colecciones en el país han explorado esta posibilidad desde el análisis teórico. Este tipo de trabajos visibilizan la necesidad de fortalecer las distintas actividades, infraestructura, políticas institucionales y recursos humanos necesarios para un manejo responsable de las colecciones, el cual es complejo de implementar y requiere la búsqueda de un gran capital humano y financiero para su mantenimiento.

NUEVAS APROXIMACIONES Y SU VALOR SOCIAL, EDUCATIVO Y CIENTÍFICO

En la actualidad, destacan las iniciativas dirigidas a expandir los horizontes de las colecciones biológicas científicas a través de exposiciones permanentes abiertas al público en general, y colecciones vivas temáticas (jardín evolutivo, jardín ecológico, jardín etnobiológico, jardín de las interacciones) con sede en el Instituto de Biología, de la UNAM (UNAM, 2023), que hacen amena y accesible la difusión del conocimiento. En este sentido, las colecciones biológicas

científicas y sus innovaciones como material vivo poseen un valor social dirigido a que las personas conozcan y se relacionen con las distintas formas de vida en la Tierra, lo que repercute en una conciencia ambiental para la protección y manejo racional de los recursos naturales. A su vez, estas colecciones sirven para documentar la biodiversidad y su pérdida a distintas escalas, lo cual incide en la generación de valores, saberes y prácticas encaminadas al cuidado del ambiente (educación ambiental). Desde el punto de vista científico, estas colecciones poseen ejemplares de referencia (especímenes tipo) en los que se basa el conocimiento y la descripción de especies actuales y futuras, por lo que son irremplazables y esenciales para la ciencia.

El objetivo último de las colecciones biológicas científicas es configurarse como reservorios de información biológica pasada, presente y futura, por lo que deben valorarse y salvaguardarse como recurso base que sustenta el conocimiento que tenemos de la vida en el planeta.

R E F E R E N C I A S

- CONABIO (2023). Colecciones Biológicas Científicas en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Gobierno de México. Recuperado de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/colecciones/>.
- DOF (1975). Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas, artísticos e históricos. Diario Oficial de la Federación. 8 de diciembre de 1975. Recuperado de: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4828221&fecha=08/12/1975#gsc.tab=0.
- DOF (2000). Ley General de Vida Silvestre. Diario Oficial de la Federación. 8 de julio de 2000. Recuperado de: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146_200521.pdf.
- DOF (2001). Norma Oficial Mexicana NOM-126-ECOL.2000, Por la que se establecen las especificaciones para la realización de actividades de colecta científica de material biológico de especies de flora y fauna silvestres y otros recursos biológicos en el territorio nacional. Diario Oficial de la Federación, 20 de marzo de 2001. Recuperado de: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=768503&fecha=20/03/2001#gsc.tab=0.
- DOF (2004). Ley General de Bienes Nacionales. Diario Oficial de la Federación. 20 de mayo de 2004. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=670882&fecha=20/05/2004#gsc.tab=0.
- Godínez-Álvarez A e Ibáñez-Bernal S (2010). Catálogo de Psychodidae (Diptera) de la colección de artrópodos con importancia médica del



© José Kuri Breña. Serie Otoño. Serigrafía, 1985.

InDRE, Secretaría de Salud, México. *Acta zoológica mexicana* 26:99-121.

Pedraza-Lara C (2023). La Colección de artrópodos de referencia forense. *Revista Digital de Ciencia Forense* 223-35.

U de G (2023). Universidad de Guanajuato. Cultura UG. Museos y Galerías. Museo Dugès. Recuperado de: <https://www.cultura.ugto.mx/museosygalerias/museo-duges>.

UNAM (2023). Colecciones vivas, Instituto de Biología UNAM. Recuperado de: <https://www.ib.unam.mx/ib/unidades-investigacion/jardin-botanico/colecciones-vivas/>.

Angélica María Hernández-Ramírez
Centro de EcoAlfabetización y Diálogo de Saberes
Universidad Veracruzana
angehernandez@uv.mx

¿Cómo describir las nuevas especies?

Alejandro **Torres-Montúfar**

La descripción de una especie de plantas nueva es un proceso riguroso y científico que sigue ciertas pautas y normativas regidas por el Código Internacional de Nomenclatura Botánica, que aplica para plantas, algas y hongos. El primer paso, y el más importante por obvias razones, es descubrir una especie. Para encontrarla no siempre es necesario ir a lugares de difícil acceso o poco explorados como la selva de Borneo o Madagascar. En algunas ocasiones ni siquiera hay que salir de un edificio o de una ciudad, ya que muchas veces las plantas ya fueron colectadas por alguien más (incluso hace más de 100 años) y solo hizo falta que un taxónomo se asomara a una gaveta del herbario y se determinara críticamente a qué especie corresponde el ejemplar que está frente a sus ojos (Lavoie, 2013).

Un ejemplo de esto ocurrió en 2013, cuando Noguez-Hernández y colaboradores describieron una especie nueva de romerito (*Suaeda edulis*). La particularidad de esta planta radica en que se cultiva y consume por toneladas en Semana Santa y Navidad en el Valle de México, y además tiene siglos consumiéndose, con lo cual se resalta que las nuevas especies pueden estar más cerca de lo que pensamos.

PRIMEROS PASOS

Para la descripción de especies nuevas de plantas, el punto de partida es un ejemplar o espécimen de herbario, que corresponde a una muestra de una planta colectada, prensada, secada, montada en una cartulina de 40 x 30 cm y guardada

en un recinto particularmente destinado a su conservación: el herbario (Bridson y Forman, 2000). Si la especie nueva se descubrió en trabajo de campo se colectará y depositará en un herbario con este método.

Los ejemplares o especímenes se someten a un estudio en el laboratorio, que incluye la observación de características morfológicas, como forma y tamaño de hojas, flores, frutos, tallos, raíces, así como de sus características microscópicas, como tricomas. A la par, se compara con otras especies similares que ya están descritas y con las cuales podríamos confundirla; esto es un paso fundamental para definir fehacientemente si la planta es realmente una especie nueva o quizás una variante de una especie ya conocida. Cuando hay presupuesto económico se pueden realizar análisis moleculares, como secuenciación de ADN, para corroborar que efectivamente sea una nueva especie.

Una vez confirmado que es una especie nueva, se empieza a preparar un manuscrito para una revista científica especializada en botánica y particularmente en taxonomía (Figura 1). Para ello, en el Código Internacional de Nomenclatura para Algas, Hongos y Plantas se establecen las normas básicas para que la publicación de la nueva especie sea efectiva, válida y legítima (CINB, 2018). En el caso de especies nuevas, esta publicación especializada recibe el nombre de protólogo, que debe cumplir con las normas editoriales de la revista a la que se sometió y puede ser en prácticamente cualquier idioma.

¿CÓMO NOMBRARLA?

Uno de los puntos más relevantes es el nombre científico de la nueva especie, el cual debe proceder

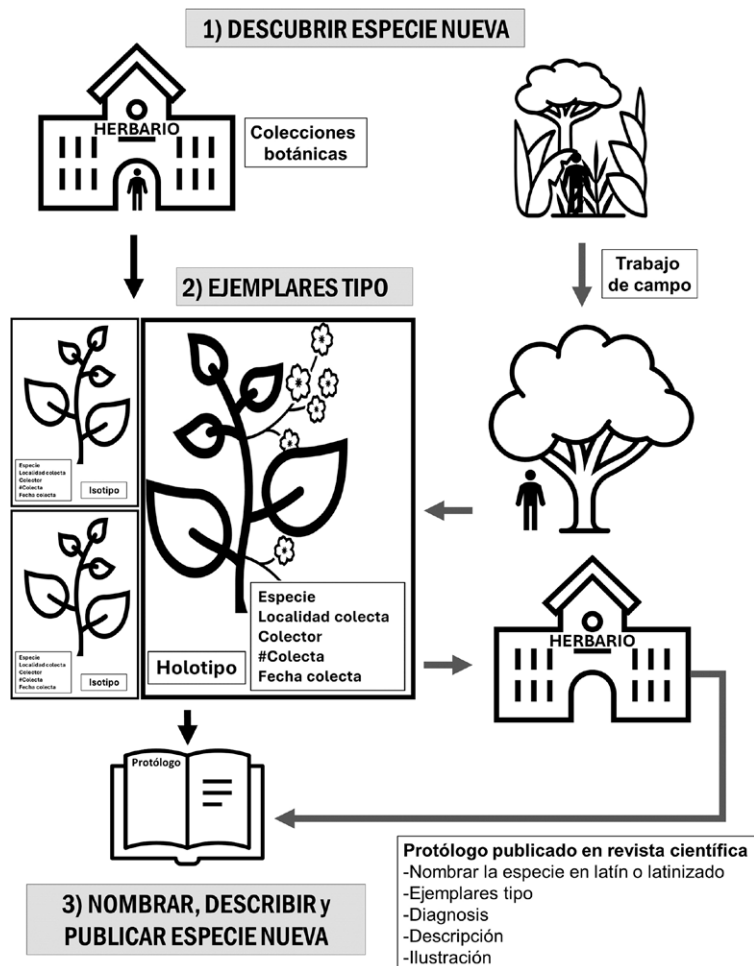


Figura 1. Pasos generales para la descripción y publicación de una especie nueva.

del latín o bien ser latinizado siguiendo las reglas gramaticales del latín (Harper, 2012). No hay una regla que nos impida dedicarle especies a cualquier cosa o persona, pero siempre se debe guardar un comportamiento ético y respetuoso al momento de elegirlo. El nombre científico debe ser binomial, es decir el género y el epíteto específico, este último es el que nosotros elegimos; acompañando a este nombre binomial van las abreviaturas de los autores de la especie (Albaladejo, 2005; Rico Arce y Magaña Rueda, 2007).

Los nombres científicos pueden aludir a la región donde crece la planta como *Aristolochia veracruzana*, planta endémica en el estado de Veracruz; a características morfológicas de la planta *Amsonia grandiflora*, por las flores grandes; o bien, están dedicados a importantes personalidades de la botánica como *Pinus rzedowskii*, dedicada a Jerzy

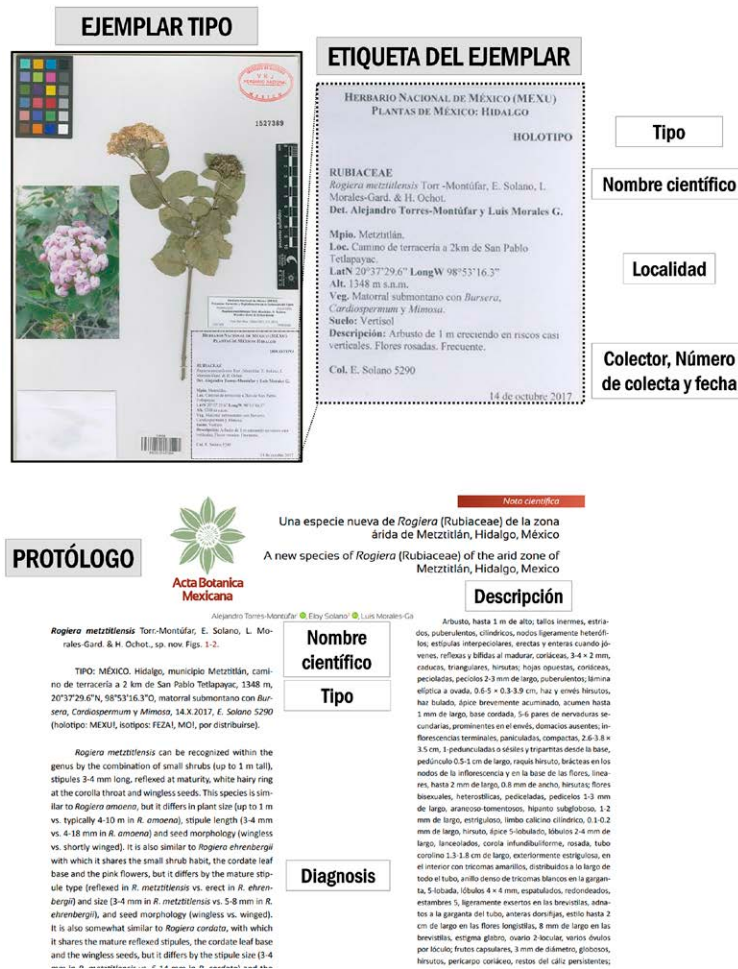


Figura 2. Ejemplo de un espécimen tipo y de un protólogo.

Rzedowski, uno de los botánicos más importantes de la historia de México. Existen algunos ejemplos peculiares de nombres científicos como la orquídea sudamericana *Dracula vampira* (Luer, 2009) o bien, el género de helechos nombrado *Gaga*, dedicado a la cantante estadounidense Lady Gaga (Li *et al.*, 2012).

SU PUBLICACIÓN

Más allá de los elementos que posee todo artículo científico (título, resumen, palabras clave, introducción, materiales y método, resultados, discusión y literatura citada), el protólogo debe contener una descripción formal que incluya información detallada sobre las características morfológicas de la planta. Además de esa descripción, un protólogo debe incluir una diagnosis, la cual consiste en un párrafo en latín o inglés donde se destaquen las principales

diferencias entre la especie nueva propuesta y una o más especies afines, y se resuman las principales características para su postulación como nueva especie (Turland, 2019).

La razón por la que el nombre científico y la diagnosis deben ir en latín es porque el latín es una lengua muerta y, por tanto, ya no cambia. Hace poco más de una década, el Código de Nomenclatura permitió también el uso de inglés, puesto que actualmente es el idioma universal en ciencia, mientras que, desafortunadamente, los taxónomos que sabían latín se fueron volviendo escasos. Que el texto pueda ir en cualquier idioma, pero que el nombre científico y la diagnosis sean en latín o inglés, garantiza la universalidad y el acceso a esa información, independientemente de si el protólogo está escrito en chino o en ruso. Otra parte fundamental para que un texto pueda considerarse como un protólogo, es la inclusión de algo que se llama

“material tipo o tipos”, que es o son esos ejemplares de herbario usados en la descripción de una especie nueva; de estos, el más importante es el holotipo, el cual corresponde a un único ejemplar de herbario designado por el autor como el representante de la especie nueva. Cualquier otro ejemplar que haya sido colectado será considerado como isotipo. Todo protólogo en la actualidad debe incluir un holotipo designado y, además, proveer información crítica de este, como la localidad de recolecta, la fecha de colecta, el nombre del recolector, el número de colecta y el herbario donde está depositado (Figura 2). Se procura, además, que los isotipos queden distribuidos en numerosos herbarios de otras instituciones, nacionales o internacionales, para que el acceso a ellos sea más amplio (CINB, 2018; Turland, 2019).



© José Kuri Breña. *Ensoñación*. Dibujo al carbón, 1985.

En un protólogo se puede incluir toda la información que el autor o autores consideren pertinente para describir a la especie nueva, como datos de etnobotánica, polinizadores, asociaciones con otras plantas, información sobre el estado de conservación y vulnerabilidad, y también información sobre la etimología. Además, debe especificarse por qué se eligió tal o cual nombre.

REVISIÓN POR LA COMUNIDAD CIENTÍFICA

Una vez concluido el proceso de escritura, sometemos nuestro manuscrito al ojo escrutador de los revisores anónimos seleccionados por la revista, también taxónomos, cuyo trabajo es validar o rechazar que la especie que proponemos sea una nueva.

Este proceso lleva algunos meses y en términos generales es un ir y venir del texto con los autores y revisores, aclarando dudas o modificándolo para que sea claro.

Cuando los revisores dan su visto bueno, procede la publicación formal y solo una vez publicada es que una especie queda formalmente descrita para la ciencia.

REFERENCIAS

- Albaladejo CM (2005). Registrando la biodiversidad. *Boletín de la Asociación Española de Entomología* 29:11-27.
- Bridson D y Forman L (2000). *The herbarium handbook*, Royal Botanic Gardens, Kew.
- Comité Editorial CINB (2018). Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas (Código de Shenzhen). Stiftung Herbarium Greuter, Alemania: Berlín.
- Harper MA (2012). The use of binomial Latin-based names in botany. *Wellington Botanical Society Bulletin*. 54:3-8.
- Lavoie, C. (2013). Biological collections in an ever changing world: Herbaria as tools for biogeographical and environmental studies. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 15(1): 68-76.
- Noguez-Hernández R, Carballo-Carballo A y Flores-Olvera H (2013). *Suaeda Edulis* (Chenopodiaceae), una nueva especie de lagos salinos del centro de México. *Botanical Sciences* 91(1):19-25.
- Rico Arce L y Magaña Rueda P (2007). La nomenclatura botánica en la sistemática del siglo XXI. *Ciencias* 87:70-76.
- Turland N (2019). *The code decoded*. Advanced Books, Pensoft Publishers, Bulgaria: Sofía.
- Luer CA (2009). *Dracula*, a new genus in the Pleurothallidinae. *Selbyana* 2(2): 190-198.
- Li FW, Pryer KM, Windham MD (2012). *Gaga*, a new fern genus segregated from Cheilanthes (Pteridaceae). *Systematic Botany* 37: 845-860.

Alejandro Torres-Montúfar
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán
Universidad Nacional Autónoma de México
montufar@comunidad.unam.mx

La luz y su efecto en las plantas

Carlos Eligio **Hernández-Navarrete**
Humberto **Aguirre-Becerra**

La radiación electromagnética es una combinación de campo eléctrico y campo magnético. Ambos fenómenos existen de forma independiente en la naturaleza; sin embargo, su interacción produce lo que conocemos como ondas electromagnéticas. La radiación solar que llega a nuestro planeta puede dividirse en tres secciones; la luz es la zona del espectro visible para el ser humano, comprendido entre el rojo (700 nm) y el violeta (420 nm), pasando por el naranja (600 nm), el amarillo (570 nm), el verde (520 nm) y el azul (480 nm) (Figura 1). A la derecha de la luz visible encontramos la radiación ultravioleta (100 nm-400 nm), y a la izquierda, los infrarrojos (700 nm a 1 mm). Específicamente, la radiación fotosintéticamente activa (PAR, 400 nm-700 nm) es necesaria para el metabolismo primario de las plantas, ya que interactúa con la clorofila y otros pigmentos antena (moléculas que captan la energía luminosa y proporcionan color a las plantas) durante el proceso de fotosíntesis para transformar la luz en moléculas de glucosa que, posteriormente, formarán parte de otras cadenas bioquímicas para generar biomasa.

Sin embargo, niveles deficientes o excesivos de radiación solar tienen un efecto perjudicial en los organismos fotosintéticos, ocasionando problemas en su desarrollo (metabolismo primario) y activando su metabolismo secundario que está relacionado con su defensa ante el estrés biótico y abiótico. Adicionalmente, las plantas responden a la cantidad de luz y longitudes de onda específicas a

través de diferentes fotorreceptores englobados en cinco grupos: fototropinas, fitocromos, criptocromos, zeitlupes y UVR8, los cuales están relacionados con fenómenos como la elongación (alargamiento de las plantas), fototropismo (inclinación de las plantas hacia la fuente de luz), ciclo circadiano (reloj interno), defensa ante niveles excesivos de radiación ultravioleta (UV), entre otros (Meisel *et al.*, 2011).

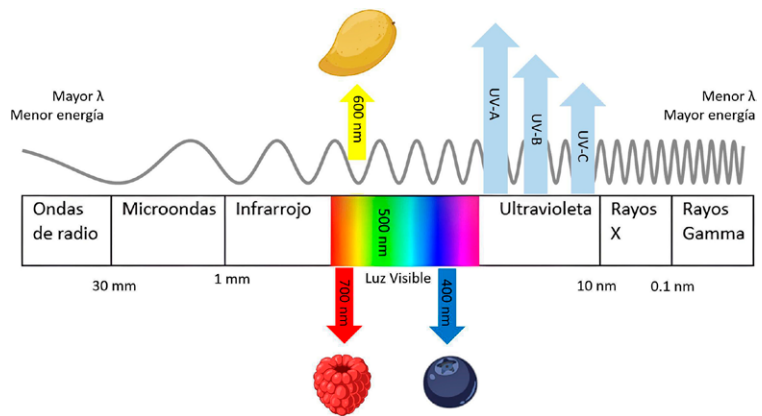


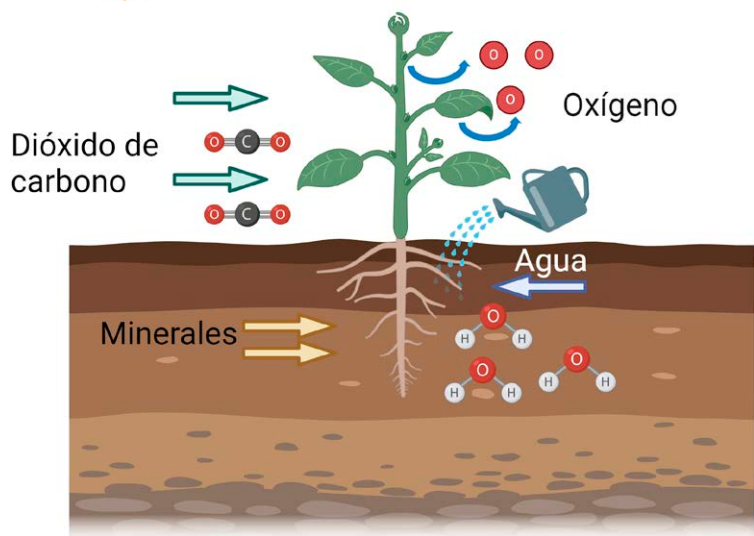
Figura 1. Fenómeno electromagnético y sus longitudes de onda.

CARACTERÍSTICAS DE LA LUZ

La luz está compuesta de paquetes individuales de energía llamados fotones. La cantidad de energía almacenada en estos paquetes dependerá de su longitud de onda: los fotones de una longitud de onda corta tendrán mayor energía, mientras que los de onda larga tendrán menos energía. El término “luz” aplica para el intervalo del espectro electromagnético que el ser humano puede ver; por ejemplo, el color rojo de una frambuesa es de 620 nm a 750 nm, el color azul del cielo o de una mora abarca entre los 380 nm y 500 nm, mientras que el color amarillo de un mango va de 570 nm a 581 nm. A la derecha de este intervalo, con menor longitud de onda, pero mayor contenido de energía, se encuentra la radiación UV (100 nm-400 nm), que se divide en UV-A (315 nm-400 nm), UV-B (280 nm-320 nm) y UV-C (100 nm-280 nm). El 95 % de la radiación UV que llega a la superficie de nuestro planeta corresponde a UV-A, mientras que el otro 5 % corresponde a UV-B. La capa de ozono filtra por completo la radiación UV-C (Meisel *et al.*, 2011). A la izquierda del intervalo de luz visible se encuentran la radiación



Figura 2. Explicación gráfica del proceso de fotosíntesis.



rojo lejano e infrarrojo. Estos tres intervalos de radiación electromagnética (infrarrojos, luz visible y UV) son importantes para el metabolismo de las plantas.

FOTOSÍNTESIS

El proceso de fotosíntesis se lleva a cabo en todo tipo de plantas, tanto marinas como terrestres. En términos generales, consiste en la transformación de la energía de la radiación PAR en energía química almacenada en forma de azúcares. Dicho de otra

manera: es el mecanismo por el cual las plantas producen su alimento (Figura 2). La fotosíntesis consta de dos etapas: la fase luminosa y la fase oscura. Durante la fase lumínica se crean moléculas portadoras de energía (ATP y NADPH) que se utilizarán durante la fase oscura para crear moléculas de glucosa mediante agua y dióxido de carbono, liberando oxígeno como un subproducto. Los pigmentos antena de las plantas clorofilas (verde), xantofilas (amarillo) y carotenoides (anaranjado) son los encargados de absorber la energía de la luz (Soto-Hernández, 2020). De estos tres pigmentos, la mayoría de las plantas tienen clorofila-a y clorofila-b en mayor cantidad. La clorofila absorbe las longitudes de onda correspondientes al rojo lejano, rojo, azul y UV-A, reflejando las longitudes intermedias, por lo que las plantas se ven de color verde.

Las plantas vasculares son aquellas que cuentan con tejidos que transportan agua y nutrientes entre sus hojas, raíces, tallo, flores, etcétera. En estas plantas han surgido tres vías para fijar el carbono durante la fotosíntesis: C_3 , C_4 y CAM. Aquellas que utilizan el rubisco (enzima que cataliza la asimilación de CO_2 atmosférico) como método de fijación del carbono se denominan plantas C_3 por el compuesto de tres carbonos (3-PGA), que se produce en el ciclo de Calvin. Cabe mencionar que aproximadamente el 85 % de las plantas en el planeta entran en esta clasificación; por ejemplo, tomate, espinaca, pepino, alfalfa, arroz, eucalipto y acelgas. En las plantas C_4 , las reacciones que dependen de la luz y del ciclo de Calvin se encuentran separadas físicamente: las primeras se llevan a cabo en las células del mesófilo (parte esponjosa del centro de la hoja), y las segundas se llevan a cabo alrededor de las venas de la hoja conocidas como células del haz vascular. Ejemplos de plantas C_4 son sorgo, caña de azúcar, amaranto y maíz.

Finalmente, las plantas CAM son aquellas adaptadas a ambientes secos, como las cactáceas y las piñas, que utilizan la vía del metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) que en lugar de separar en forma física las reacciones dependientes de la luz y el ciclo de Calvin, los separan temporalmente, es decir, primero las reacciones dependientes de la

luz y posteriormente el ciclo de Calvin, recogiendo la luz solar durante el día y fijando moléculas de CO_2 durante la noche (Martínez-Aguirre *et al.*, 2020).

FOTORRECEPTORES

Los fotorreceptores son moléculas receptoras de luz que tienen la capacidad de captar diferentes longitudes de onda y transforman las señales lumínicas en señales bioquímicas. Posteriormente, dependiendo de la ruta metabólica que se active, se desencadenarán cambios fisiológicos, por ejemplo, elongación y fototropismo. Hasta la fecha se conocen cinco grupos de fotorreceptores: fototropinas, fitocromos, criptocromos, zeitlupes y UVR8; cada uno de ellos reacciona a longitudes de onda específicas. Los fitocromos son cromoproteínas capaces de absorber luz principalmente en las regiones rojo (660 nm), rojo lejano (730 nm) y azul (440 nm-485 nm), y son claves para el ciclo circadiano de las plantas. Estos fotorreceptores ayudan a las plantas a distinguir entre el día y la noche; por ejemplo, durante el día, la radiación solar contiene todas las longitudes de onda, mientras que en el atardecer predomina el rojo y el naranja. Al captar el color rojo, los fitocromos se activan, mientras que, al ir del rojo al rojo lejano, se desactivan. Estas proteínas se encuentran principalmente en tejidos meristemáticos, aquellos compuestos por células indiferenciadas con alta capacidad de división, encargadas del crecimiento vegetal y que posteriormente pueden diferenciarse para crear diferentes tejidos. Los procesos que son mediados por los fitocromos son la germinación de las semillas, la regulación de la floración y la inhibición de la elongación del tallo. Estos procesos son activados por pulsos pequeños de luz visible roja (Júnior y Gomes, 2023).

En células vegetales existen dos familias de moléculas que captan y transmiten la luz azul: los criptocromos y las fototropinas. Los criptocromos son fotorreceptores que captan la luz azul (450 nm), la radiación UV-A (355 nm-366 nm) y, en algunos casos, la luz verde (500 nm-550 nm). Los procesos que regulan

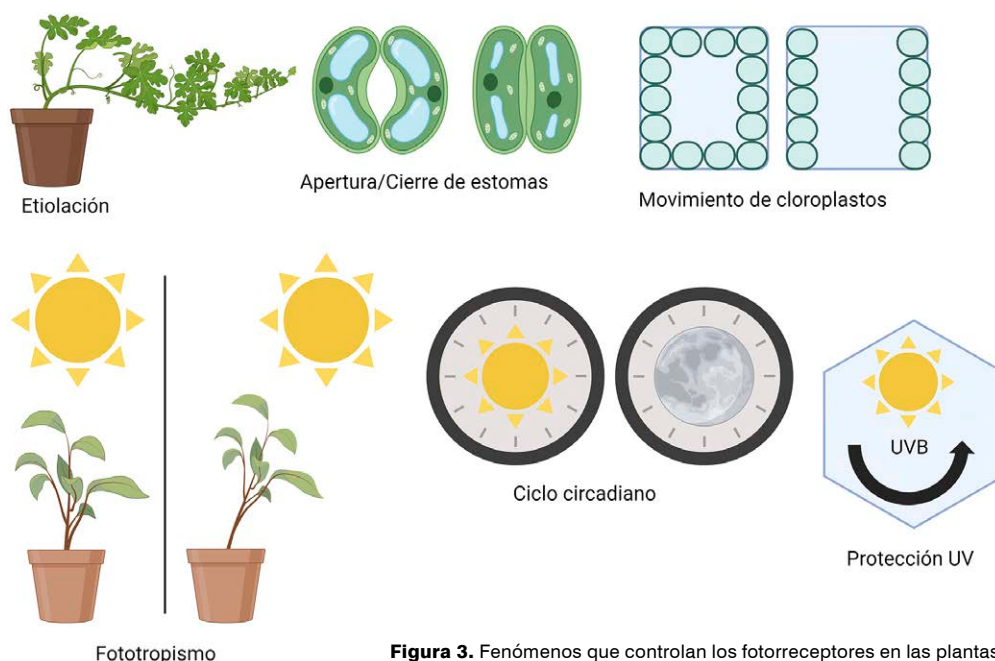


Figura 3. Fenómenos que controlan los fotorreceptores en las plantas.

son el ciclo circadiano, la biosíntesis de antocianinas, la dormancia (suspensión temporal de crecimiento y desarrollo), la germinación de semillas, la apertura de estomas, el fotoperiodo de la floración, la elongación del hipocótilo y la adaptación a ambientes ricos en luz verde y deficientes de luz roja y azul.

Las fototropinas son receptoras de luz azul (450 nm) y radiación UV-A (355 nm-366 nm). Estas moléculas controlan el fototropismo en que participa activamente la hormona auxina causando que la planta se dirija hacia la fuente de luz (Figura 3), al grado de que en algunas ocasiones llega a producir malformaciones.

Los fotorreceptores del grupo UVR8 desencadenan respuestas fotomorfogénicas a la radiación UV-B (280 nm-315 nm) al regular la transcripción de un conjunto de genes. Este conjunto de fotorreceptores es el de más reciente descubrimiento y sigue siendo ampliamente estudiado; sin embargo, se sabe que su función principal está relacionada con la producción de compuestos bioactivos que le confieren protección a la planta ante niveles altos de radiación UV. Finalmente, los fotorreceptores de la familia zeitlupe desempeñan un papel importante en el control de la degradación y la estabilidad de los

componentes asociados con la regulación del reloj circadiano y el control fotoperiódico de la floración, además, son reguladores positivos de la elongación del hipocótilo (es el tallo de la plántula presente en la semilla), que se localizan en el citosol o el núcleo de las células (Páez *et al.*, 2021).

RELACIÓN DE LA LUZ CON LOS METABOLITOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

Los metabolitos primarios son de suma importancia para las plantas ya que tienen un papel directo en su desarrollo; por ejemplo, en procesos como el crecimiento, la reproducción, la fotosíntesis, la respiración, entre otros. Estos metabolitos se originan mediante la fotosíntesis debido a la interacción de CO₂ y agua con la luz, produciendo carbohidratos, ATP, almidón, proteínas, lípidos y aminoácidos (Páez *et al.*, 2021).

Las plantas, al someterse a una situación de estrés, como el generado por ciertas longitudes de onda y niveles no adecuados de iluminación durante determinados periodos de tiempo, comienzan a producir una mayor cantidad de compuestos bioactivos, llamados metabolitos secundarios, que le ayudarán a defenderse de estas condiciones adversas (Landi *et al.*, 2020). Por ejemplo, la planta conocida como gobernadora (*Larrea tridentata*) produce ácido

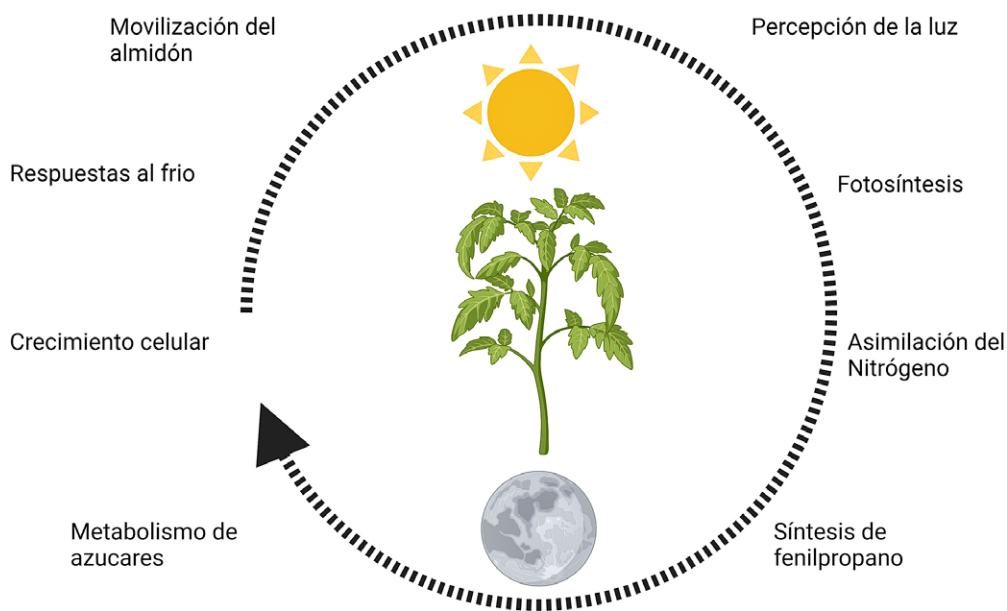


Figura 4. Ciclo circadiano y fenómenos que controla.

nordihidroguayarático que la protege de hongos fitopatógenos y de herbívoros. Cabe mencionar que estos metabolitos secundarios son benéficos para la salud humana, ya que se les han atribuido propiedades antiinflamatorias, anticarcinogénicas, antihipertensivas, entre otras, por lo cual la activación del metabolismo secundario de las plantas de los cultivos es un tema de interés en la comunidad científica.

CICLO CIRCADIANO

Las plantas, y todos los seres eucariotes tienen un reloj interno que les permite regular todo lo que pasa en su interior en dependencia del ciclo de luz y oscuridad también conocido como fotoperiodo. Este reloj interno, formalmente conocido como ciclo circadiano, puede considerarse un sistema de dos componentes: la entrada, que sincroniza a un oscilador central, y la salida que conecta al oscilador con diversos procesos fisiológicos, metabólicos y de desarrollo. En plantas, este reloj interno regula gran parte del transcriptoma. A nivel celular, los osciladores son el resultado de los ciclos de retroalimentación tanto positivos como negativos, en los cuales, los genes de expresión (genes reloj) inhiben su propia transcripción. La importancia del ciclo circadiano radica en el control de una gran

cantidad de acciones involucradas en el desarrollo y fisiología que les permite a las plantas anticipar eventos periódicos, por ejemplo, la fotosíntesis, la respiración, la floración y la movilización de nutrientes, entre otros (Su *et al.*, 2021) (Figura 4).

EFFECTO PERJUDICIAL DE LA LUZ EN PLANTAS

El efecto de niveles no adecuados de radiación solar o de fuentes artificiales de iluminación puede ser perjudicial para las plantas en dependencia de su intensidad o longitud de onda. Por ejemplo, un incremento en la exposición de radiación UV-B puede generar un impacto negativo en su desarrollo vegetativo y provocar cambios metabólicos que repercuten en la producción de biomasa, reflejándose en una menor área foliar o una disminución del crecimiento y, en casos extremos, desencadenando necrosis, fenómeno que significa la muerte las células de las hojas, lo que percibimos como un cambio de color del verde al amarillo (clorosis), hasta llegar a un café o negro (necrosis) (Figura 5). Adicionalmente, la radiación UV-B puede causar daños en biomoléculas como el ADN. Por otra parte, niveles altos de radiación UV fomentan la creación

de moléculas dañinas llamadas radicales libres que pueden dañar las proteínas y otros componentes celulares importantes. (Mendoza-Paredes *et al.*, 2022; Fontana *et al.*, 2023).

Entre los mecanismos de defensa de las plantas están los procesos de fotorreparación y capacidad antioxidante, que conjuntamente proporcionan protección a la radiación UV y a otros tipos de estrés. Adicionalmente, las hojas de las plantas que se encuentran expuestas a una gran cantidad de luz comienzan a inclinarse, de manera que la superficie que se encuentra expuesta a la luz sea la mínima posible. Otro mecanismo de defensa es transformar el 30 % de la energía disponible en azúcar y liberar el resto como calor (Caicedo-López *et al.*, 2021).

CONCLUSIÓN

La luz forma parte fundamental de la vida en la tierra. En las plantas, la radiación PAR permite llevar a cabo el proceso de fotosíntesis, uno de los procesos biológicos más importantes en la naturaleza y del cual depende la vida humana. En términos generales, es de suma importancia la relación intrínseca entre la luz y la bioquímica vegetal, destacando la sensibilidad de las plantas a las variaciones en la calidad, intensidad de la luz y fotoperiodo, que impactan en su desarrollo y en la producción de biomasa y metabolitos secundarios. Actualmente, la comunidad científica busca crear condiciones de iluminación óptimas para las plantas a través de tecnologías como las lámparas fluorescentes, de alta presión de sodio y LED, que sustituyan o complementen la radiación solar.

R E F E R E N C I A S

Caicedo-López LH, Aranda AL, Gómez CE, Márquez EE y Zepeda HR (2021). Elictores: implicaciones bioéticas para la agricultura y la salud humana. *Revista Bioética* 29:76-86.



Figura 5. Efecto negativo de la radiación en las plantas.

Fontana JL y Scozzina EF (2023). El lado oscuro de la iluminación LED. La luz de LEDs y las plantas. *Extensionismo, innovación y transferencia tecnológica claves del desarrollo* 8(1):85-98.

Júnior JL y Gomes LD (2023). Respostas à sinalização luminosa mediada pelos fitocromos. *Botânica no inverno* 12:132-139

Martínez-Aguirre CA, Zambrano-Demera YE y Pluas-Mora RJ (2020). Fotosíntesis artificial. Una tecnología de la revolución energética. *Domínio de la ciencia* 6:151-159.

Meisel L, Urbina D y Pinto M (2011). Fotorreceptores y respuestas de plantas a señales lumínicas. En *Fisiología vegetal*. Ediciones Universidad de La Serena, Chile.

Mendoza-Paredes JE, Castillo-González AM, Valdéz-Aguilar LA, Avitia-García E y García-Mateos MR (2022). Efecto de diferentes relaciones de luz azul:roja en el crecimiento de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Biotechnia* 24(1):87-96.

Páez OM, Flórez RV y Guillermo RG (2021). Fundamentos de la floración mediada por luz y potencialidades de las mallas fotoselectivas y huellas espectrales en floricultura. Productos relevantes del proyecto Fortalecimiento de la competitividad del sector floricultor colombiano mediante el uso de ciencia tecnología e innovación aplicada en Cundinamarca. Cundinamarca: Unisalle.

Landi M, Zivcak M, Sytar O, Brestic M y Allakhverdiev S (2020). Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments: A review. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergética* 1861:2-20

Su C, Wang Y, Yu Y y Wang L (2021). Coordinative regulation of plants growth and development by light and circadian clock. *aBIOTECH* 2, 176-189.

Soto-Hernández M (2021). La fotosíntesis. *Logos* 8:22-23.

Carlos Eligio Hernández-Navarrete
Humberto Aguirre-Becerra
Universidad Autónoma de Querétaro
chernandez192@alumnos.uaq.mx

Fructanos de agave como prebióticos

Mónica A. **Robles-Arias**
Alma E. **Cruz-Guerrero**

El agave es una planta de hojas grandes y carnosas con espinas en su contorno y una terminación en aguja fina. La planta de agave es considerada endémica de México. En náhuatl, el agave se conocía como *metl* y era considerado una planta sagrada y un regalo de los dioses. En 1753, el botánico y naturalista Charles Linneo le dio el nombre de *Agave* (del griego “noble” y del latín “admirable”) debido a la capacidad que tiene para crecer en climas extremos, donde en ocasiones es la especie predominante (López y Mancilla-Margalli, 2007).

El número de especies de agave identificadas ha sido controversial, algunos autores indican la existencia de 166 especies, mientras que en otros reportes se mencionan entre 200 y 273 especies identificadas tan solo en el continente americano. Su ubicación no se limita a México, el agave se extiende en el continente americano desde Honduras y El Salvador, hasta Estados Unidos. Debido a sus características morfológicas y fisiológicas, el agave es capaz de adaptarse y sobrevivir en regiones con condiciones extremas (Davis, 2022).

En México, el cultivo de agave posee importancia económica debido a la producción de bebidas alcohólicas, entre las que destacan el tequila y el mezcal. Sin embargo, entre otras aplicaciones industriales se encuentra la obtención de fructanos.

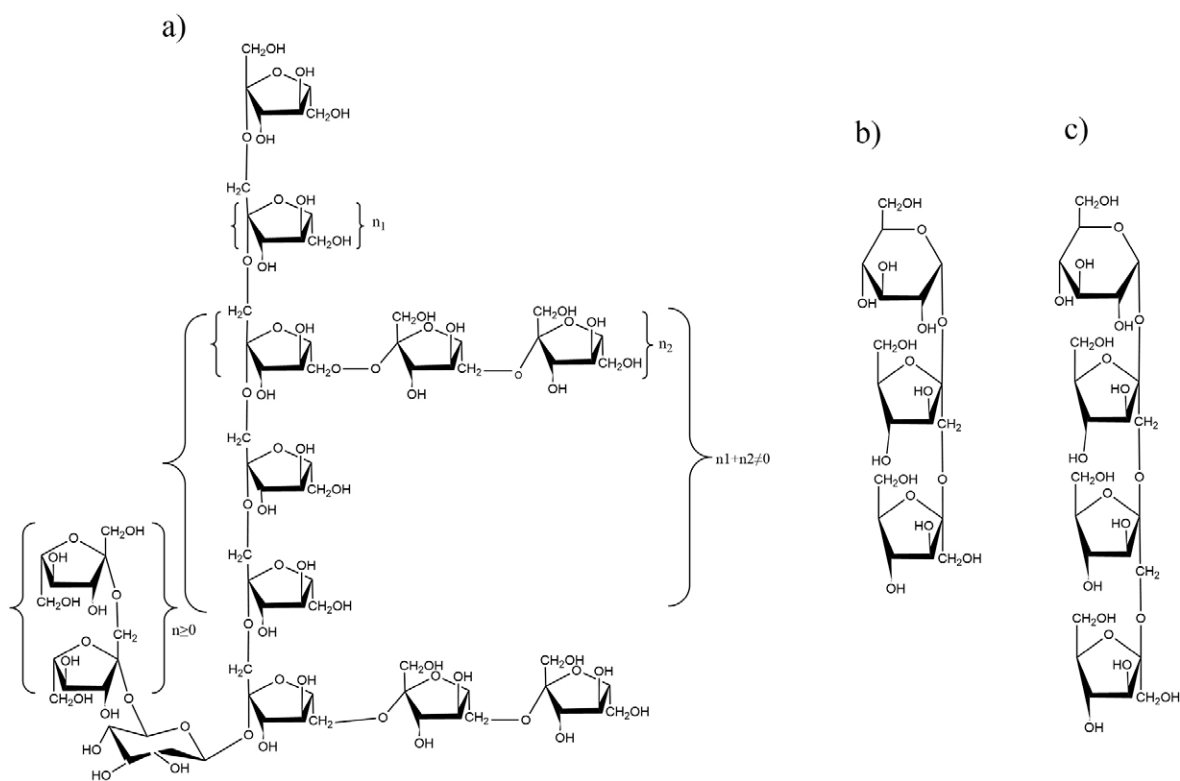


Figura 1. Fructanos y fructooligosacáridos presentes en el agave. a) agavinas; b) 1-kestosa; c) nistosa.

FRUCTANOS DE AGAVE Y SUS CARACTERÍSTICAS

Los fructanos de agave, o agavinas, son cadenas de carbohidratos complejos que la planta usa como reserva de energía para resistir condiciones adversas como sequías, así como altas y bajas temperaturas. Estos compuestos están conformados por sacarosa unida a una o más unidades de fructosa. La complejidad de los fructanos está determinada por cuantas fructosas se pueden unir para formarlo. Las cadenas con más de 10 unidades de fructosa son conocidas como agavinas (Figura 1a), mientras que compuestos de 3 a 10 fructosas reciben el nombre de fructooligosacáridos (FOS) (Figura 1b, 1c).

Las propiedades tecnológicas y funcionales de la cadena del fructano dependen de su tamaño. Los fructanos de cadena larga pueden ser empleados como sustitutos de grasa en algunos alimentos, mientras que los FOS tienen propiedades

funcionales como disminuir los niveles de glucosa en sangre, facilitar la absorción de minerales en el intestino, auxiliar en el control de peso, así como ejercer actividad prebiótica (Robles-Arias y Cruz-Guerrero, 2023), funcionalidad que se abordará en este trabajo.

PREBIÓTICOS

Los prebióticos son sustancias nutricionales que no son digeribles en el tubo gastrointestinal, por lo que llegan íntegramente al colon y promueven tanto el crecimiento como la actividad de una o más bacterias benéficas (las cuales reciben el nombre de probióticos) (Corzo *et al.*, 2015). Los prebióticos tienen un efecto directo en el crecimiento y activación del metabolismo de los probióticos; de este modo, podemos definir que los prebióticos son el alimento de los probióticos. Por su parte, los probióticos son microorganismos vivos que, al ser administrados en cantidades adecuadas, proporcionan efectos benéficos en la salud (Hill *et al.*, 2014).

Para que un alimento sea considerado prebiótico debe cumplir las siguientes características: 1) no debe ser metabolizado en el tracto digestivo superior; 2) debe servir como “nutrimento” para un grupo específico de bacterias benéficas; 3) debe poseer la capacidad de alterar la microbiota intestinal induciendo efectos benéficos en el consumidor (Pineda-Tapia *et al.*, 2022).

EFFECTOS DE LOS FRUCTANOS DE AGAVE EN LA MICROBIOTA INTESTINAL

Los prebióticos no son metabolizados en el intestino delgado y son fermentados en el intestino grueso por bacterias que forman parte de la microbiota intestinal. Es por ello que los fructanos previenen que microorganismos patógenos como *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. (causantes de enfermedades gastrointestinales) colonicen el intestino grueso debido a la estimulación de bacterias benéficas como las pertenecientes al género *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* (Huezcas-Garrido *et al.*, 2022).

Los lactobacilos predominan en el intestino delgado; son bacterias que inhiben la proliferación de microorganismos patógenos generada por la competencia por el consumo de nutrientes y por la reducción de pH (producto del metabolismo de las bacterias probióticas). Por otra parte, las bifidobacterias normalmente se encuentran en mayor cantidad en el segmento final del intestino delgado y en el intestino grueso. Estas bacterias inhiben el crecimiento de bacterias patógenas mediante la disminución del pH del tubo digestivo, así como por la producción de compuestos con actividad antibacteriana.

Los efectos benéficos que ejercen los fructanos a la salud dependen de si su mecanismo de acción es directo o indirecto. El mecanismo indirecto está relacionado con el crecimiento de los probióticos, lo que puede deberse a productos de la fermentación como los ácidos grasos de cadena corta. Por otra parte, el efecto directo implica la activación de los receptores tipo Toll, los cuales son moléculas clave en el reconocimiento de patógenos y moléculas propias del organismo, lo que dispararía una respuesta inmunológica (Sosa-Herrera y Delgado-Reyes, 2017).

Se ha sugerido que el efecto directo de los prebióticos está relacionado con los fructanos del tipo inulina, como las agavinas (Figura 1a) encontradas en el agave, mientras que el efecto indirecto se atribuye a fructanos de cadena corta (Figura 1b, 1c). Por ejemplo, *Lactobacillus paracasei* y *Lactobacillus rhamnosus* crecen mejor en presencia de FOS compuestos por 3 a 5 unidades de fructosa, mientras que el crecimiento de estas bacterias disminuye si la composición del FOS aumenta a 11 unidades (Mueller *et al.*, 2016).

Un ensayo clínico demostró que incluir fructanos de agave en la dieta de niños con desnutrición y niños con un peso normal derivó en un incremento en la concentración de probióticos en su microbiota; así mismo, se registró la disminución de bacterias patógenas en sus muestras fecales (Martínez-Gramiño *et al.*, 2022). En otro estudio se evidenció que los FOS de agave, en especial la 1-kestosa, producen un efecto antiinflamatorio debido a la producción de butirato por *Faecalibacterium prausnitzii* (Tochio *et al.*, 2018).

Los fructanos de agave podrían ser una alternativa de consumo para personas que padezcan obesidad, ya que se ha demostrado que las personas obesas tienen un desbalance en la presencia de bacterias benéficas de los géneros *Bacteroides* y *Firmicutes*, por lo que el consumo de fructanos de agave podría ayudar a recuperar el equilibrio de la microbiota intestinal (Armas-Ramos *et al.*, 2018). Adicionalmente, diversos estudios han demostrado que su consumo ayuda a la disminución de la circunferencia de cintura y cadera (Espinoz-Andrews *et al.*, 2021).

En resumen, del agave no solo se pueden obtener bebidas alcohólicas, sino también sustancias que, como los fructanos, ejercen efectos benéficos en la salud.

R E F E R E N C I A S

Armas-Ramos RA, García DM y Cruz ERP (2019). Fructanos tipo inulina: efecto en la microbiota intestinal, la obesidad y la saciedad. *Gaceta Médica Espiritana* 21(2):134-145.

Corzo N, Alonso JL, Azpiroz F, Calvo MA, Cirici M, Leis R, Lombo F, Mateos-Aparicio I, Plou FJ, Ruas-Madiedo P, R  perez P, Redondo-Cuenca A, Sanz ML y Clemente A (2015). Prebióticos; concepto, propiedades y efectos beneficiosos. *Nutrici  n hospitalaria* 31(1):99-118.

Davis SC (2022). Agave americana: characteristics and potential breeding priorities. *Plants* 11(17):2305.

Espinosa-Andrews H, Urias-Silvas JE and Morales-Hernandez N (2021). The role of agave fructans in health and food applications: A review. *Trends in Food Science & Technology* 114:585-598.

Hill C, Guarner F, Reid G, Gibson GR, Merenstein DJ, Pot B, Morelli L, Canani RB, Flint HJ, Salminen S, Calder PC and Sanders ME (2014). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology* 11(8):506-514.

Huezcas-Garrido L, Alan  s-García E, Ariza-Ortega JA y Zafra-Rojas QY (2022). Subproductos de interés nutricional y funcional de *Agave salmiana*. *Revista Chilena de Nutrici  n* 49(2):250-262.

López MG and Mancilla-Margalli NA (2007). The nature of fructooligosaccharides in Agave plants. En *Recent Advances in Fructooligosaccharides Research* (pp.47-67). Research Signpost, India.

M  rtinez-Gami  o D, García-Soto MJ, G  nzalez-Acevedo O, Godínez-Hernández C, Juárez-Flores B, Ortiz-Basurto RI, Rodríguez-Aguilar M, Flores-Ramírez R, M  rtinez-M  rtinez M, Ratering S, Schnell S, Bach H and M  rtinez-Gutiérrez F (2022). Prebiotic effect of fructans from *Agave salmiana* on probiotic lactic acid bacteria and in childrens as supplement for malnutrition. *Food & Function* 13(7).

Mueller M, Reiner J, Fleischhacker L, Viernstein H, Loeppert R and Praznik W (2016). Growth of selected probiotic strains with fructans from different sources relating to degree of polymerization and structure. *Journal of functional Foods* 24:264-275.

Pineda-Tapia FJ, Villarruel-López A e I  guez-Muñoz LE (2022). Efectos de los fructanos del Agave mexicano como potencial prebiótico y su importancia en la microbiota humana. *Acta de Ciencia en Salud* 16:39-44.

Robles-Arias MA y Cruz-Guerrero AE (2023). Obtención de fructooligos  caridos de agave y su potencial biológico: Un artículo de revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* 7(2):11710-11734.

Sosa-Herrera MGS y Delgado-Reyes VAD (2017). Propiedades funcionales y aplicaciones tecnológicas de fructanos. En *Propiedades Funcionales de hoy* (pp. 99-115). OmniaScience, España.

Tochio T, Kadota Y, Tanaka T and Koga Y (2018). 1-Kestose, the smallest fructooligosaccharide component, which efficiently stimulates *Faecalibacterium prausnitzii* as well as bifidobacteria in humans. *Foods*, 7(9):140.

Mónica A. Robles-Arias

CONAHCYT

Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa

Alma E. Cruz-Guerrero

Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa

aec@xanum.uam.mx



Rarezas de la naturaleza: ¿plantas que comen carne?

Paola Michelle **Núñez-Álvarez**
Mayte Stefany **Jiménez Noriega**

Al hablar de plantas es fácil imaginar a organismos con raíces, tallo y hojas que producen su propio alimento a través de la luz solar y la fijación de dióxido de carbono. También que revisten gran importancia ya que son productoras de oxígeno mediante la fotosíntesis y proporcionan alimento a humanos, insectos y animales, además de que algunas tienen atributos medicinales.

Ahora bien, en la naturaleza es común observar que los animales e insectos se alimenten de ellas, pero ¿podrían las plantas dejar su lugar en la base de la cadena alimenticia para estar en la cima como depredadoras? Si bien esto no es posible, existe un singular grupo de plantas que han logrado cambiar su papel de víctimas para ser ahora ellas quienes “cazan”. En la Antigüedad se creía que esto era algo antinatural y que incluso eran capaces de comer humanos. Hablamos de las plantas carnívoras.

Las plantas carnívoras utilizan mecanismos como el olor y el color, así como sustancias y diferentes tipos de trampas para atraer y capturar a diversos organismos con el fin de alimentarse y completar la absorción de nutrientes que normalmente se obtienen del suelo. Regularmente, las plantas carnívoras crecen en suelos pobres, es decir, con falta de nutrientes. El mecanismo a través del cual se alimentan las plantas carnívoras es la digestión de sus presas gracias a la presencia de enzimas que las descomponen,

de manera similar al proceso de digestión en los humanos. Estas enzimas son secretadas por los pelos (tricomas glandulares) presentes en las hojas. En algunos casos cuentan con la ayuda de hongos y bacterias en el proceso de digestión.

¿CARNÍVORAS O INSECTÍVORAS?

Existe una controversia respecto al uso del término “carnívoro” en relación con las plantas; pero, ¿qué es un carnívoro? El término hace referencia a los animales que pueden ingerir y alimentarse de carne para obtener los nutrientes que necesitan. Estos organismos tienen características especiales que les permiten capturar a sus presas, así como cortar y desgarrar la carne; por ejemplo, unas mandíbulas muy fuertes, dientes afilados y resistentes, así como sentidos del oído, gusto y olfato muy desarrollados.

Debido a lo anterior, desde hace unos años se ha considerado que el término “carnívoras” es inapropiado, por lo que se acuñó el de “insectívoras”. Se tiene registro de que, en 1875, Darwin fue de los primeros en emplear el término “insectívoras” en sus estudios sobre estas plantas, que registró en el libro *Insectivorous Plants*.

En contraste, en 1942, el botánico Francis Ernest Lloyd, también fascinado por estas plantas, usó “carnívoras” al describirlas y hablar más detalladamente de ellas en *The Carnivorous Plants*, considerado uno de los trabajos más completos en este tema.

Años después, el nombre de “carnívoras” fue cuestionado por el doctor Álvaro Fernández-Pérez quien, en 1964, arguyó que es un término erróneo porque no se alimentan de carne como algunos mamíferos. Argumentó también que el nombre más adecuado es el de plantas “insectívoras”, ya que consumen principalmente insectos y crustáceos acuáticos.

Actualmente, se considera que la dieta de estas plantas es mucho más compleja, por lo que “insectívoras” podría no definir las. Esto porque, además de alimentarse de insectos, también pueden hacerlo de otra gran variedad de organismos como arácnidos, ciempiés, milpiés, cladóceros, copépodos,



Figura 1. Presencia de tricomas que secretan enzimas para la digestión. A) *Drosera capensis*. B) *Drosera pygmaea*. (Fotografía: Alejandro Torres-Montúfar).

ostrácodos, anélidos, caracoles, babosas, rotíferos, hasta pequeños anfibios, reptiles, roedores, e incluso peces pequeños y renacuajos. Sin embargo, aún se sigue estudiando si la captura de anfibios y reptiles en efecto forma parte de su amplio menú o solo son capturas accidentales y desafortunadas (Duno de Stefano y Can, 2023; Rice, 2002).

¿QUÉ AGRUPA A UNA PLANTA CARNÍVORA?

Para que una planta pueda ser llamada carnívora/insectívora debe reunir ciertas características. Debe contar con alguna modificación en sus hojas que le permita “cazar” y matar a sus presas, como trampas y tricomas (Figura 1A, B), además de ser capaz de digerir y absorber nutrientes de sus presas. Finalmente, debe poder asimilar y utilizar estos nutrientes para su crecimiento y reproducción. Esto porque son



Trampa en forma de jarra, captura pasiva. A) *Darlingtonia californica*
B) *Nepenthes*. (Fotografía: Alejandro Torres Montúfar).

plantas que crecen en hábitats que poseen poca disponibilidad de nutrientes, en especial nitrógeno y fósforo, que son indispensables para ellas.

Estas plantas se pueden encontrar en una gran variedad de ambientes, desde tropicales, templados, áridos, semiáridos, hasta árticos. Especialmente, en bosques húmedos tropicales, en humedales como pantanos y sabanas, y rara vez en desiertos. Son plantas trepadoras, hierbas erectas y en roseta, que es la forma más común. Pueden ser terrestres, acuáticas o epífitas, es decir, que crecen sobre algún árbol o alguna otra planta (Alcalá y Domínguez, 1997; Rice 2002; Mithöfer, 2022).

PLANTAS CON MOVIMIENTO: CAPTURA PASIVA Y ACTIVA

Las diferentes trampas y formas de caza con las que estas plantas atrapan a sus presas se pueden

clasificar en dos tipos, dependiendo de si presentan movimiento o no. En la captura pasiva no se requiere de movimiento, solo es necesario atraer a la presa usando el olor y la apariencia similar al néctar en las hojas donde se posa la presa que, de esta manera, queda atrapada.

Tricomas glandulares secretan una sustancia pegajosa llamada mucílago, que no permite que la presa escape y, así, comienza a ser digerida. Algunas carnívoras, además, enrollan sus hojas para que la presa tenga mayor contacto con los tricomas glandulares que secretan enzimas digestivas. Entre los géneros que presentan este tipo de trampa se encuentran *Drosophyllum*, *Drosera* y *Pinguicula*. En la trampa jarra, o de caída (captura pasiva), las hojas de las plantas modifican su forma para formar una vasija. Las hojas cubiertas de ceras son resbaladizas y en el fondo se encuentra un líquido mortal formado por enzimas digestivas.

Los insectos son atraídos por néctar, posteriormente se posan sobre el borde de la trampa e inevitablemente resbalan dentro de ella. Este tipo de trampas las presentan géneros como *Nepenthes*, *Sarracenia*, *Heliophora* y *Darlingtonia* (Figura 2A, B).

Por otra parte, la captura activa se divide en dos: encierros activos o trampas instantáneas, y capturas por succión. La primera trampa consiste en dos lóbulos que forman una bisagra con pelos sensitivos; al tener contacto con el insecto, se cierra la bisagra de forma muy rápida dejando encerrada a la presa mientras comienzan a liberarse las enzimas para el proceso de digestión. Los géneros *Dionaea* y *Aldrovanda* presentan este tipo de trampa.

Por último, las trampas por succión presentes en géneros como *Utricularia*, *Biovularia* y *Polypompholyx*. La trampa consiste en una pequeña cavidad en forma de vejiga que se encuentra cerrada de manera hermética por un opérculo o tapa. En la tapa se encuentran unos pelos sensitivos que al tener contacto con la presa cierran la tapa rápidamente y en cuestión de segundos la presa es succionada.

SU PASO POR EL CINE

La idea errónea de plantas comehumanos se ha popularizado gracias al cine, ya que han sido representadas como criaturas peligrosas, aterradoras y alienígenas, sobre todo en películas de terror o ciencia-ficción. El género *Dioneae* es el más popular, en específico la especie *D. muscipula*, comúnmente conocida como venus atrapamoscas. Esta planta es tan famosa que ha aparecido en películas como *Nosferatu*, de 1922; *La tiendita de los horrores*, de 1960 y 1986; y *Viaje al centro de la Tierra*, de 2008. Pero no solo se ha limitado al cine, sino que además aparece en el famoso videojuego *Super Mario Bros*. Años atrás ya había cautivado al mismo Darwin, quien la describió como “una de las más maravillosas del mundo”.

USOS

Las plantas carnívoras proporcionan servicios ecosistémicos; por ejemplo, son controladoras de algunas plagas. Esto se debe a que, al tener grandes banquetes de insectos ayudan a regular su presencia en los sitios donde se distribuyen. También hay especies que poseen flores muy vistosas, por lo que tienen valor como plantas ornamentales. De igual forma, algunos géneros, como *Drosera* y *Pinguicula*, tienen propiedades medicinales; por ejemplo, eran parte de los componentes de un medicamento que servía para tratar la tosferina. Sin embargo, actualmente, en algunos países se sigue vendiendo un medicamento naturista que entre sus componentes tiene extracto de *Drosera*, el cual está indicado para el tratamiento de la tos debida a enfermedades respiratorias como bronquitis y faringitis.

CAZADORAS VULNERABLES

Las plantas carnívoras son un grupo conformado por 600 a 800 especies, no hay consenso, y solo se han estudiado 102 variedades (Jennings y Rohr, 2011). Además, se ha reportado que más de la mitad

de las 102 especies estudiadas se encuentran amenazadas, según la lista roja de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza), y el registro más reciente sugiere que esta cifra había aumentado a 495 especies amenazadas (Cross *et al.*, 2020).

Entre las causas que promueven una amenaza para estas plantas podemos mencionar la pérdida de hábitats por cambios de uso de suelo, actividades humanas como la agricultura, deforestación, contaminación por el uso de herbicidas, y saqueo para su venta ilegal. Aún hay mucho por conocer y entender de estas plantas únicas, así como muchas especies nuevas por estudiar. No sería raro que se descubrieran datos aún más sorprendentes sobre las plantas carnívoras que, además de cautivar a sus presas, también son capaces de hacerlo con los humanos.

R E F E R E N C I A S

- Alcalá RE y Domínguez CA (1997). Biología de las plantas carnívoras: aspectos ecológicos y evolutivos. Boletín de la sociedad botánica de México 60:59-69.
- Cross AT, Krueger TA, Gonella PM, Robinson AS and Fleischmann AS (2020). Conservation of carnivorous plants in the age of extinction. Global Ecology and Conservation 24:1-30.
- Duno de Stefano R y Can LL (2023). Dime qué comes y te diré quién eres: la dieta de las plantas carnívoras. Desde el Herbario CICY 15:69-73.
- Fernández-Pérez A (1964). Plantas insectívoras, I: Lentibulariaceas de Colombia y Perú. Caldasia 41:5-79.
- Jennings DE and Rohr JR (2011). A review of the conservation threats to carnivorous plants. Biological Conservation 144:1356-1363.
- Lloyd FE (1942). The carnivorous plants. Chronica Botanica Company, EUA.
- Mithöfer A (2022). Carnivorous plants and their biotic interactions. Journal of Plant Interactions 17:333-343.
- Rice B (2002) Carnivorous plants-classic perspectives and new research. Biologist 49:1-5.

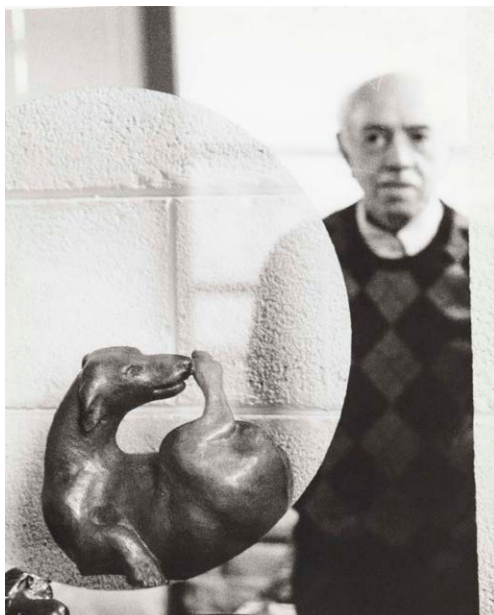
Paola Michelle Nuñez-Álvarez
Facultad de Estudios Superiores Iztacala
Universidad Nacional Autónoma de México
Mayte Stefany Jiménez Noriega
Jardín Botánico FES-Cuautitlán
Universidad Nacional Autónoma de México
mayte.jimenez@cuautitlan.unam.mx

José Kuri Breña, escultor

Violeta Tavizón Mondragón



© José Kuri Breña. *Retrato del río Sena y jardín* (arriba).
Estudio (abajo). Fotografía plata sobre gelatina, sfp.



El momento histórico que protagoniza un artista plástico queda impregnado en su producción. En este sentido, los pintores y escultores mexicanos que vivieron a lo largo del siglo XX, no fueron la excepción. En los albores de la centuria, comenzaron a desdenar el arte europeo para construir un lenguaje plástico propio y auténtico, el cual culminó en el movimiento conocido como Muralismo. Esta nueva pintura de tipo social motivó a varias generaciones de artistas a adoptar una nueva corriente estética de raíces mexicanas.

Los hechos políticos, sociales o económicos marcan coyunturas en la historia del arte y, de forma paralela, además de servir para contextualizar el hecho histórico-artístico, también lo enriquece. En este caso, alrededor de 1940, la llegada de intelectuales y artistas extranjeros al territorio nacional, le dio otro sabor al arte mexicano. Corrientes europeas como el surrealismo, llegaron a nuestro país y comenzaron a enraizarse en lo más profundo de algunos artistas mexicanos.

Conforme avanzaban los primeros años de la segunda mitad del siglo XX, comenzó a fraguarse una nueva generación de artistas que marcó una época en la historia del arte mexicano y que conformaron lo que los especialistas llaman ahora la generación de La ruptura.



© José Kuri Breña. *Mujer pájaro, Mujer sentada y Perro tarascada*, sfp.



© José Kuri Breña. *Homero, Mujer pájaro en bambú y Lázaro*. Fotografía plata sobre gelatina, sfp.

El escultor zacatecano José Kuri Breña, quien nació en 1912 y murió en 2004, transitó por las distintas corrientes artísticas por las cuales el país atravesó a lo largo del siglo XX.

Han sido varios los trabajos que se han escrito sobre los artistas zacatecanos del siglo XX, desde Francisco Goitia hasta Manuel Felguérez; todos ellos tienen como común denominador que, si bien experimentaron varias técnicas, la pintura fue siempre el hilo conductor de su producción artística. *Rara avis*, José Kuri Breña, al contrario de los demás, dedicó la mayor parte de su tiempo a generar obra escultórica. A Kuri Breña se le ha estudiado poco, ya sea como escultor y orfebre o como abogado.

Entre 1934 y 1940 estudió en la Escuela Libre de Derecho, donde se tituló como abogado. Movidó por su afición al arte, dedicó parte de su tiempo libre a estudiar lo que se convirtió en su pasión, la escultura, por lo que inició sus clases en la Escuela Nacional de Arte.

En la antigua Academia de San Carlos encontró amistades entrañables que estarían a su lado siempre, como Ignacio Asúnsolo, Luis Nishizawa y Francisco Zúñiga, personajes del mundo artístico mexicano cuya notoriedad comenzó a fraguarse por esa época.

Kuri Breña siguió los preceptos de los escultores renacentistas, que tenían como premisa imitar a la naturaleza a partir de una visión particular según la cual desde la materia emerge pacientemente una figura revelada por la mano del escultor.



© José Kuri Breña. *Desnudo, Esfera zodiacal y Madera concava*, 1976/1974/sfp.



© José Kuri Breña. *Nautilus*. Ónix, 1981.



© José Kuri Breña. *Cisne*. Cuarzo, 1972.



© José Kuri Breña. *Acostada*. Mármol, sfp

Encontró la belleza en las cosas más sencillas: en una nube, en una hoja seca, en las caracolas, en las notas musicales o en un fósil, creando en su taller objetos tridimensionales que van desde pequeñas piezas de orfebrería hasta sus monumentales esculturas. La vida del maestro Kuri Breña se devela a través de su arte, y tras su jubilación como abogado, se dedicó de tiempo completo a su otro oficio, el de escultor. Sus temáticas más constantes fueron la alegoría recurrente de la Madre Tierra en diversas figuras femeninas; los elementos simbólicos representativos de la naturaleza; el cosmos y el universo; así como la ejecución magistral de las contorsiones y la belleza del cuerpo humano.

José Kuri Breña no siguió modas o estilos, transitó libremente desde lo figurativo hasta el surrealismo y la abstracción. La materia, ya fuera mármol, cristal, jade, oro o piedra volcánica, se transformó en sus manos según las misteriosas leyes de una metamorfosis artística. Kuri Breña no dependió de nada ni de nadie para producir obras maestras, el arte por el arte fue su mejor apuesta.

B A S A D O E N L O S T E X T O S

José Kuri Breña y la metamorfosis de la materia, de Violeta Tavizón.

Violeta Tavizón Mondragón (2015), *Protocolo de Investigación*. Maestría en Investigación Humanística y Educativa de la Universidad de Zacatecas.



© José Kuri Breña. *Otoño, Busto y Venus*. Fibra de vidrio, 1998/1998/1999.

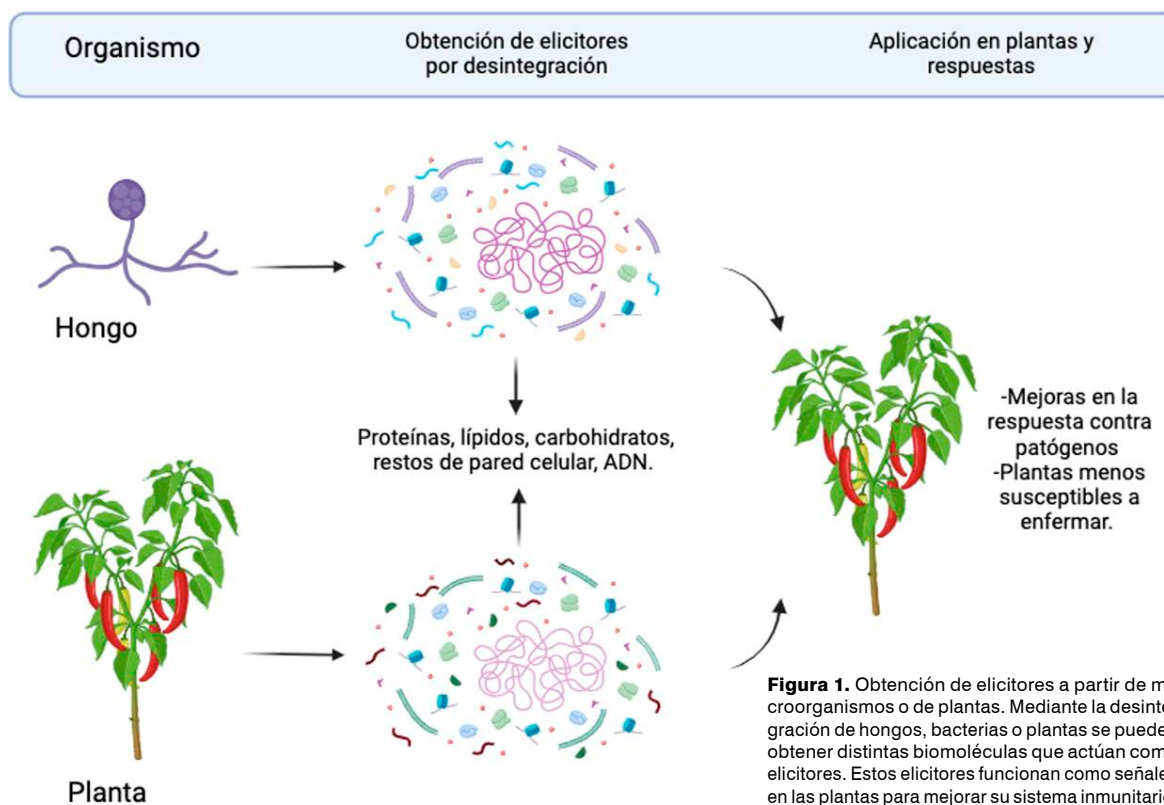


© José Kuri Breña. *Rostro marino*. Bronce a la cera perdida, sfp.

Elicitores agrícolas y la agricultura sustentable

Noelia Isabel **Ferrusquía Jiménez**
Ramón Gerardo **Guevara González**

Las plantas, como otros organismos, son capaces de detectar amenazas o si las condiciones climáticas no son las adecuadas para su crecimiento. La pregunta aquí es: ¿cómo hacen las plantas para reconocer esos peligros? A pesar de ser organismos que no se mueven, las plantas han desarrollado mecanismos para poder reaccionar frente a diversas situaciones adversas. Uno de los principales mecanismos se basa en reconocer ciertas biomoléculas, llamadas elicitores, que funcionan como señales que indican a la planta que algo ocurre a su alrededor, provocando una respuesta. Estos elicitores pueden ser moléculas orgánicas, por ejemplo, carbohidratos, proteínas o lípidos que pueden provenir de distintos organismos y tienen la propiedad de activar las defensas de las plantas; de igual forma, algunos microorganismos, siendo células completas, son considerados elicitores debido a que liberan o contienen en su superficie alguna molécula que actúa como elicitor (Vázquez-Hernández *et al.*, 2019) (Figura 1). La activación de la defensa permite a las plantas acumular ciertos compuestos químicos para responder ante fenómenos adversos como una sequía, una nevada o contra microorganismos patógenos. Los elicitores pueden dividirse en 1) elicitores externos, moléculas ajenas/externas a las plantas, conocidos también como patrones moleculares asociados a patógenos/



microbios (PAMPs/MAMPs); y 2) elicitors internos, es decir, moléculas generadas en situaciones de daño celular en el interior de las plantas, también conocidos como patrones moleculares asociados a daño (DAMPs) (Ferrusquía-Jiménez *et al.*, 2020). Así, la planta puede reconocer moléculas provenientes de otros organismos (patógenos o benéficos) o de ella misma, y generar una respuesta que le permita sobrellevar el estrés. Estos compuestos permiten a las plantas “permanecer alerta” y así generar protección contra patógenos o tolerancia frente a situaciones adversas (Yang *et al.*, 2022). Además, al ser moléculas orgánicas, los elicitors se degradan por completo en la naturaleza una vez que concluyen su acción, por lo que podrían ser una buena alternativa para su uso en la agricultura.

TIPOS DE ELICITORES AGRÍCOLAS

Existe una extensa lista de elicitors probados hasta la fecha que en estudios de campo han demostrado

tener alta eficacia para proteger a las plantas ante efectos climáticos adversos y patógenos; o bien, en estudios donde se requiere la acumulación de un metabolito de interés. Usualmente, los elicitors pueden dividirse en productos que contienen 1) células completas, 2) extractos derivados de microorganismos o 3) moléculas específicas con actividad elicitora (Figura 2) (Desmedt *et al.*, 2021).

De forma natural, microorganismos como hongos y bacterias, tienen la capacidad de activar la inmunidad vegetal debido a que algunas moléculas provenientes de ellos son reconocidas como MAMPs o PAMPs.

Se han desarrollado diferentes productos que contienen microorganismos benéficos. Entre los microorganismos benéficos de hongos y bacterias más vendidos y utilizados en el mundo están *Trichoderma* spp., *Piriformospora indica*, *Ampelomyces quisqualis*, *Penicillium simplicissimum*, *Gliocadium*, *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Agrobacterium* spp., *Rhizobium* spp (Nosheen *et al.*, 2021). Estos microorganismos, además de activar el sistema de defensa de las plantas tienen otros mecanismos

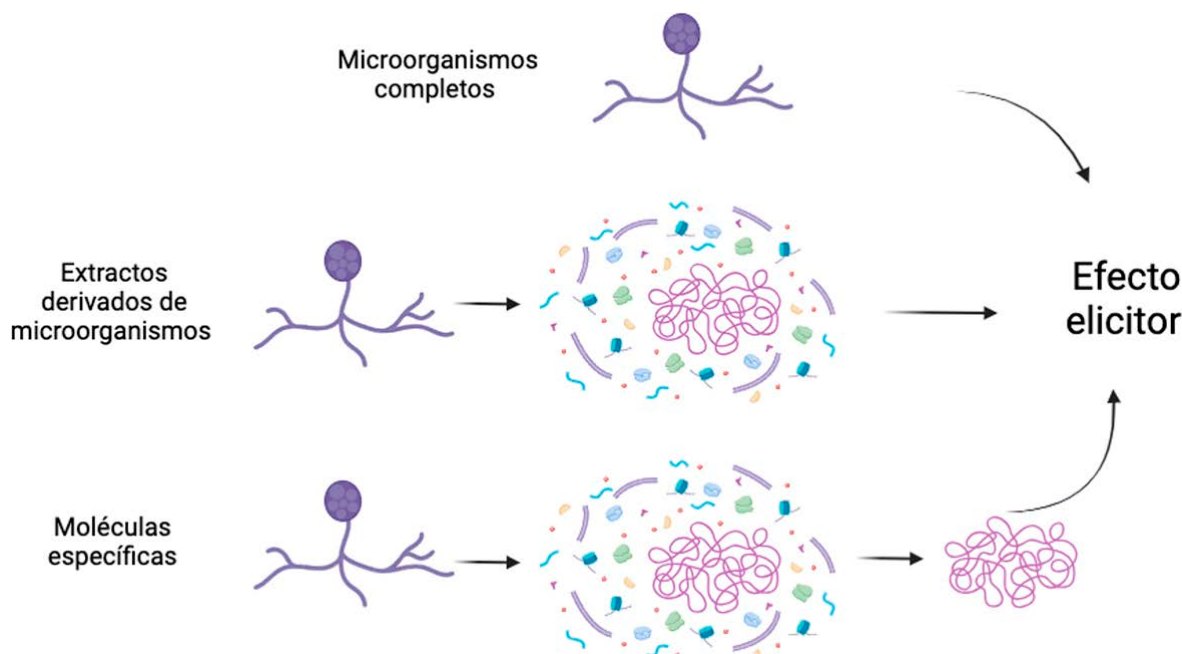


Figura 2. Tipos de elicitores. A los elicitores podemos encontrarlos como células o microorganismos completos, extractos derivados de microorganismos y como moléculas específicas con actividad elicitora. Creado con BioRender.com

de acción que promueven un mejor crecimiento y desarrollo de las plantas. Los extractos derivados de microorganismos, como su nombre lo indica, son una mezcla acuosa de diferentes elicitores obtenidos por métodos simples de extracción a partir de diferentes hongos y bacterias, y se ha demostrado que activan la defensa vegetal. Muchos de estos extractos son obtenidos a partir de microorganismos benéficos, pero también a partir de microorganismos patógenos.

Finalmente, las moléculas específicas con actividad elicitora constituyen una estrategia novedosa en que las moléculas son aplicadas de forma pura para generar respuestas benéficas. En este grupo encontramos proteínas y polisacáridos provenientes de bacterias y hongos que han sido purificados, y al ADN fragmentado.

¡Así es! El mismo material genético cuando se encuentra parcialmente degradado puede ser reconocido por las plantas.

Diferentes investigadores han utilizado muchos tipos de elicitores con la finalidad de aliviar infecciones bacterianas y fúngicas en plantas, y han conseguido que las plantas no se enfermen gravemente, o bien, que se recuperen.

UN HONGO BENÉFICO QUE ACTÚA COMO ELICITOR AGRÍCOLA

Los hongos del género *Trichoderma* han sido conocidos desde 1920 por su actividad como agentes de biocontrol (BCA: *biocontrol agents*). Estos hongos se encuentran ampliamente distribuidos en todo el mundo y pueden ser aislados a partir del suelo, madera en descomposición u otras formas de materia orgánica vegetal. Se caracterizan por tener un rápido crecimiento y una alta producción de esporas (conidios) en varios tonos de verde. Dentro de las especies mejor estudiadas del género se encuentran *T. asperellum*, *T. atroviride*, *T. harzianum*, *T. virens*, y *T. viride*, las cuales, en su mayoría, también exhiben una alta capacidad bioestimulante y de biocontrol (Tyskiewicz *et al.*, 2022). Estos hongos generan una interacción muy íntima con las raíces de las plantas, estableciendo una comunicación hongo-planta que les permite “estar alerta” frente a microorganismos patógenos, es decir, iactivando su sistema de defensa! Muchos investigadores han observado que incrementar la población de este



© José Kuri Breña. Serie *Estaciones*. Serigrafía, 1984.

hongo en el suelo beneficia profundamente la salud de las plantas.

UN EJEMPLO DE ELICITOR TIPO EXTRACTO DERIVADO DE MICROORGANISMO

El extracto de pared celular de levadura, como su nombre lo indica, es un extracto acuoso obtenido a partir de la molienda de levaduras, que puede activar la defensa de las plantas. Muchos tipos de levaduras pueden ser utilizadas para este fin; ejemplos son aquellas que se utilizan también en la elaboración del pan. Los efectos del extracto de levadura se deben a que en su composición contiene una gran cantidad de proteínas y polisacáridos parcialmente degradados. Esta mezcla tiene la facultad de activar el sistema inmunitario de las plantas, y el gran beneficio de ser una mezcla es

que, al contener diferentes elicitores, puede activar la inmunidad a través de diferentes vías. Algunos investigadores han observado que el extracto de levadura ayuda a las plantas a protegerse contra hongos patógenos que afectan los brotes, ramas, hojas y frutos de las plantas, como el moho gris (Cui *et al.*, 2018).

UN EJEMPLO DE MOLÉCULA ELICITORA CON ACTIVIDAD ESPECÍFICA

El ADN fragmentado puede ser entendido como un elicitador endógeno o un DAMP, ya que se genera una vez que las mismas células vegetales se rompen y se libera su material genético al exterior, el cual puede ser reconocido por otras células lejanas. La forma en la que actúa el ADN fragmentado ha sido reportada en múltiples ocasiones, sin embargo, aún es una tecnología de reciente creación y no ha llegado al sistema comercial.

Una de las grandes ventajas del uso del ADN fragmentado es su alta especificidad, ya que en cantidades pequeñas es capaz de activar la inmunidad de las plantas de su misma especie (Ferrusquía-Jiménez *et al.*, 2020).

Esto abre nuevos caminos de investigación, el ADN fragmentado tendrá una historia interesante en los próximos años.

NUEVAS PERSPECTIVAS EN EL USO DE ELICITORES

Actualmente, los sistemas de producción agrícola siguen bajo un esquema de producción intensiva, provocando un uso excesivo de recursos y la degradación de suelos. Estrategias como la aplicación de organismos benéficos y el uso de moléculas naturales han generado nuevas pautas para hacer de la agricultura una práctica sustentable. Si bien es necesario incorporar nuevas tecnologías y maquinarias que hagan más eficiente el uso y distribución de los recursos, también será necesario retomar prácticas tradicionales enfocadas en la agricultura regenerativa, que se basa en el restablecimiento de la biodiversidad para el mejoramiento de los ecosistemas.

Lo anterior se entiende como una estrategia de integración en la cual no solo será importante la obtención de altos rendimientos, sino también el cuidado del medio ambiente y la salud de los organismos vivos.

El uso de elicitors puede verse como una alternativa amigable con el medio ambiente proveniente de una estrategia tradicional en la cual, para evitar la aparición de enfermedades y plagas, eran aplicados extractos de los cultivos viejos a cultivos jóvenes. Hoy en día, el desarrollo de nuevos elicitors ha permitido la obtención de moléculas puras con alta eficiencia para activar el sistema de defensa de las plantas, lo que puede ser visto como una “vacuna de plantas” (Quintana-Rodríguez *et al.*, 2018).

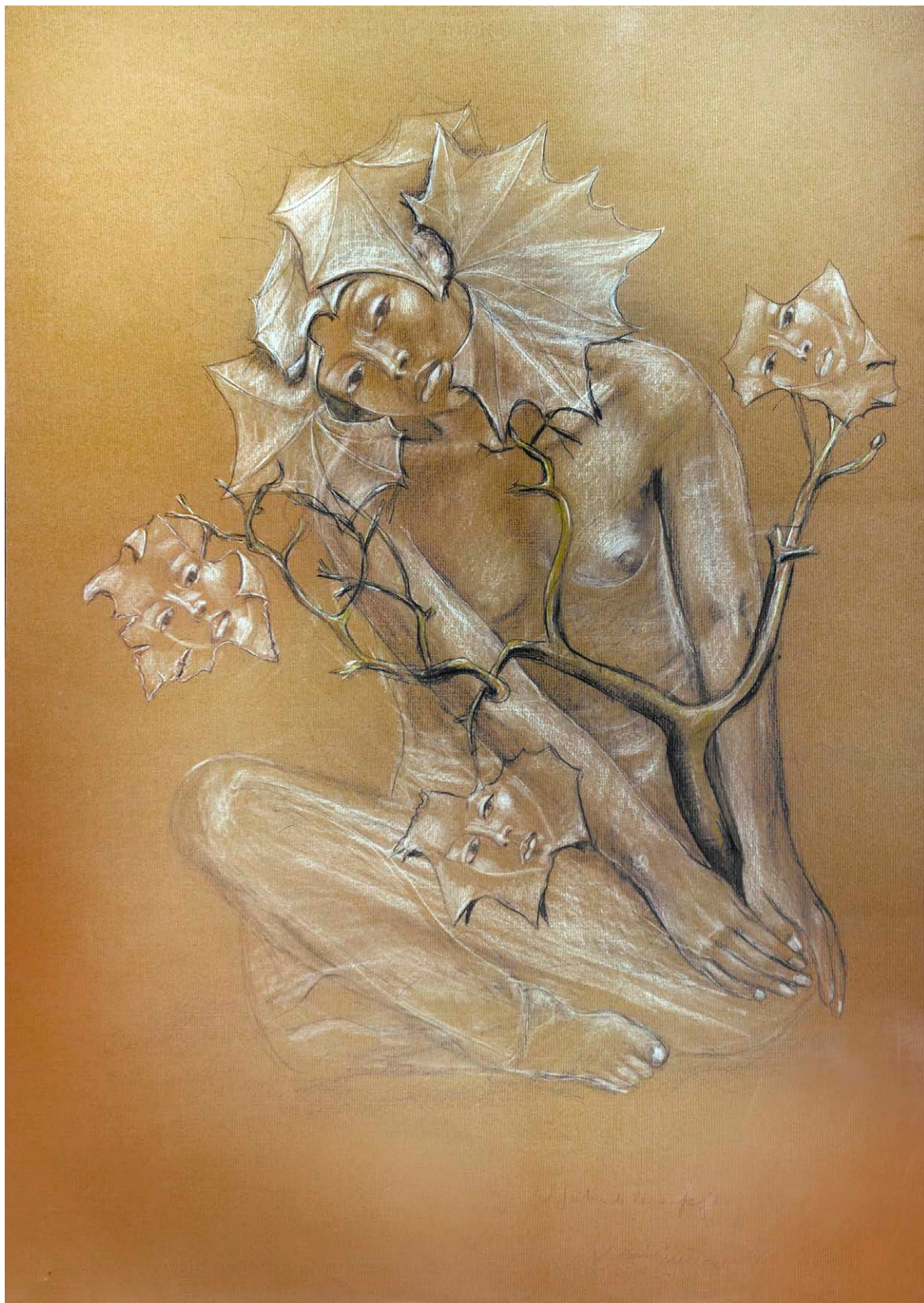
Dicha estrategia también está siendo utilizada para fortalecer nuestros suelos a partir de la incorporación de microorganismos que son benéficos y promotores del crecimiento vegetal (Nosheen *et al.*, 2021).

El desarrollo de nuevos elicitors es primordial para promover la integración de novedosos mecanismos y programas de manejo de plagas, enfermedades, uso de agua, nutrición, etcétera, que contribuyan al desarrollo de la agricultura sustentable.

REFERENCIAS

- Desmedt W, Vanholme B, Kyndt T (2021). Plant defense priming in the field: a review. En Maïenfisch P and Manginckx S (Eds.), *Recent highlights in the discovery and optimization of crop protection products* (pp 87-124). Academic Press, Reino Unido. ISBN 9780128210352.
- Nosheen S and Ajmal I, Song Y (2021). Microbes as Biofertilizers, a Potential Approach for Sustainable Crop Production. *Sustainability* 13(4):1868. <https://doi.org/10.3390/su13041868>.
- Yang B, Yang S, Zheng W and Wang Y (2022). Plant immunity inducers: from discovery to agricultural application. *Stress Biology* 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44154-021-00028-9>.
- Tyskiewicz R, Nowak A, Ozimek E and Jaroszek-Ścisł J (2022). Trichoderma: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth. *Int. J. Mol. Sci.* 23:2329. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>.
- Ferrusquía-Jiménez NI, Chandrakasan G, Torres-Pacheco I, Rico-García, E, Feregrino-Peréz AA and Guevara-González RG (2020). Extracellular DNA: A Relevant Plant Damage-Associated Molecular Pattern (DAMP) for Crop Protection Against Pests—A Review. *Journal of Plant Growth Regulation* 40(2):451-463. Springer. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10129-w>.
- Cui Sun, Ming Lin, Da Fu, Jiali Yang, Yining Huang, Xiaodong Zheng and Ting Yu. (2018). Yeast cell wall induces disease resistance against *Penicillium expansum* in pear fruit and the possible mechanisms involved. *Food Chemistry* 241:301-307. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.092>.
- Vázquez-Hernández MC, Parola-Contreras I, Montoya-Gómez LM, Torres-Pacheco I, Schwarz D and Guevara-González RG (2019). Eustressors: chemical and physical stress factors used to enhance vegetables production. *Sci. Hortic. (Amst.)* 250:223-229. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.053>.
- Quintana-Rodríguez E, Durán-Flores D, Heil M and Camacho-Coronel X (2018) Damage-associated molecular patterns (DAMPs) as future plant vaccines that protect crops from pests. *Sci Hortic* 237:207-220.

Noelia Isabel Ferrusquía Jiménez
Ramón Gerardo Guevara González
Centro de Investigaciones Aplicadas en Biosistemas
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro campus Amazcala
nols_nola@hotmail.com



© José Kuri Breña. *Sueño de otoño*. Dibujo al carbón, 1990.

Pheidole, las hormigas ahorradoras

Leticia **Ríos Casanova**
César Maximiliano **Vázquez Franco**

Las hormigas son insectos sociales de las que se han descrito más de 15,000 especies. Entre ellas existe un grupo muy diverso que son las hormigas del género *Pheidole*, cuyo nombre, que significa ahorradoras, hace referencia a la colecta y almacenamiento de semillas que algunas especies usarán más tarde como alimento. Este trabajo trata sobre la vida de estos fascinantes insectos.

ESOS INSECTOS LLAMADOS HORMIGAS

Las hormigas son de los pocos insectos que, junto con los escarabajos, las mariposas, las abejas y las cucarachas, son conocidas por todas las personas y todos las hemos visto alguna vez en nuestra vida.

Quizás hayas escuchado la fábula de la cigarra y la hormiga, una historia cuyo origen está en una de las fábulas de Esopo, en la antigua Grecia, por allá del año 600 antes de nuestra era. Lo interesante de esa fábula es que el arduo trabajo que realiza la hormiga al almacenar comida durante todo el verano, le permite tener comida en el invierno, mientras que la cigarra, que solo se dedicó a cantar, no tiene alimento durante la época fría.

Cuando los biólogos preguntamos a las personas cuántas o cuáles hormigas conocen, sorpresivamente la respuesta siempre es la misma: “Conozco las negras y las rojas o coloradas...”, ocasionalmente, entre las respuestas suelen comentarnos: “Conozco las chicanas y los

escamoles...” que, dicho sea de paso, son dos especies de hormigas comestibles (*Atta mexicana* y *Liometopum apiculatum*). Resulta particularmente irónico el hecho de que se reconozca rápida y aparentemente de forma universal a las hormigas rojas y a las negras, tanto así que el mismo Linneo, padre del sistema de clasificación biológica, utilizó en el año 1750 estos mismos nombres para bautizar a algunas de las primeras hormigas descritas formalmente: *Formica nigra*, que significa literalmente hormiga negra y *Formica rubra* u hormiga roja. Desafortunadamente, en la práctica, hormiga negra y hormiga roja son nombres comunes que no nos dicen nada a los biólogos, ya que cientos de especies tienen coloraciones negras o rojizas, lo cual hace que el color no sea la mejor característica para diferenciar a las especies. Es aquí cuando gran parte de los verdaderos problemas empiezan, pues al ser animales pequeños y al parecerse tanto a simple vista, es necesario ayudarnos de microscopios y paciencia para evitar confusiones y poder reconocerlas con base en su nombre científico.

¿QUÉ HACE QUE UNA HORMIGA SEA UNA HORMIGA?

¿CUÁNTAS EXISTEN?

En biología es común hablar de la diversidad de especies, concepto que, entre otras cosas, nos indica qué tan numeroso es y cómo se encuentra ordenado un determinado grupo biológico o taxón. En el caso concreto de las hormigas, todo insecto considerado una hormiga se encuentra clasificado dentro de la familia Formicidae; por debajo de familia existen otras agrupaciones o taxones más pequeños con categorías inferiores, son las subfamilias, las tribus, los géneros y las especies.

Las hormigas son un grupo (o familia) con muchas especies; hasta ahora se han descrito 15,700 especies (Bolton, 2023), pero se sabe que hay muchas que aún no se han descubierto o descrito. Se diferencian de cualquier otro insecto por poseer antenas geniculadas, es decir, con una forma similar a la letra L; por la presencia de una glándula llamada metapleural, que es única en las hormigas y que genera antibióticos que permiten desinfectar el medio por el que la hormiga camina; además, las hormigas poseen una cintura o adelgazamiento en el que se ubica un segmento llamado peciolo, entre el mesosoma y el gáster. En algunas especies este adelgazamiento consiste en dos segmentos y entonces se llaman peciolo y postpeciolo (Figura 1). Otras características importantes de las hormigas están relacionadas con su vida en sociedad. Nos referimos a la presencia de grupos de individuos especializados en ciertas tareas llamados castas (Hölldobler y Wilson, 1996).

Existen al menos tres castas. Las dos primeras son la casta de reproductoras, compuesta por hembras que son las reinas responsables de las puestas de huevos, y por los machos o zánganos, que

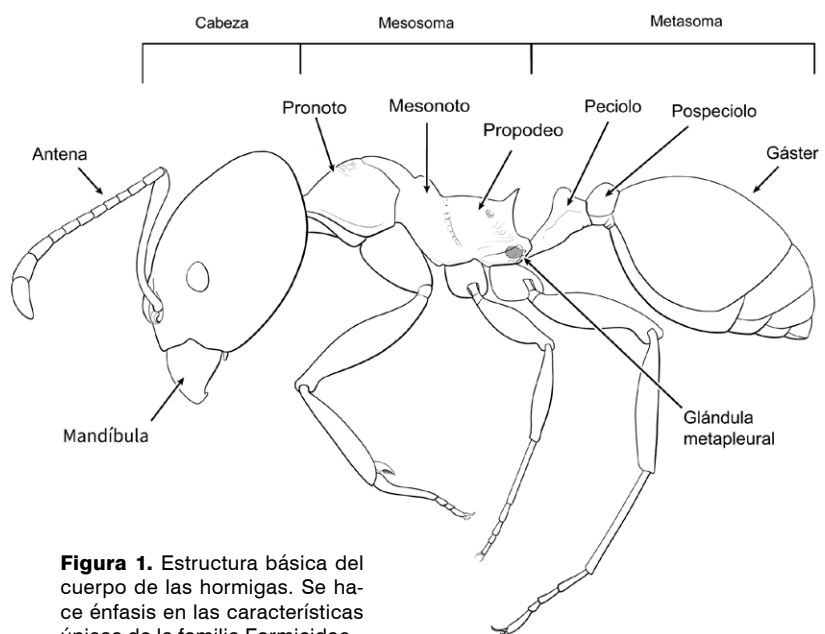


Figura 1. Estructura básica del cuerpo de las hormigas. Se hace énfasis en las características únicas de la familia Formicidae.

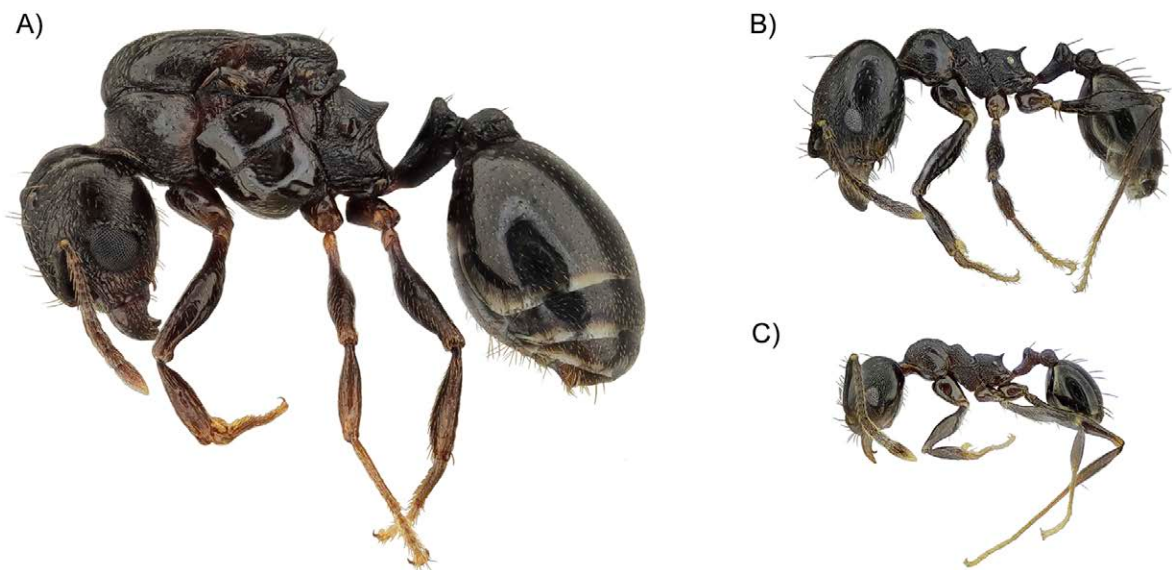


Figura 2. Castas básicas presentes en el género *Pheidole*. A) reina fértil sin alas; B) soldado; C) obrera.

fecundan a las hembras fértiles. La tercera casta es la de no reproductoras, en la que se encuentran las obreras, responsables del cuidado del nido y la obtención de recursos para la supervivencia de toda la colonia. La casta obrera está compuesta únicamente por hormigas hembras estériles, por lo que las hormigas que vemos merodeando en nuestras casas, calles y jardines son todas hembras que no se pueden reproducir (Hölldobler y Wilson, 1996).

En algunos casos, la casta de obreras puede presentar variantes llamadas subcastas; es decir, que existen diferentes tipos de obreras, con tamaños diferentes y en algunos casos con modificaciones en su forma o en su conducta (Figura 2). A algunas de estas obreras modificadas se les suele llamar soldados, en los casos en los que su función sea únicamente la defensa de la colonia, aunque algunas otras obreras pueden tener cabezas muy grandes que son utilizadas como cascanueces, como en la hormiga *Pheidole tepicana*, o que son aplanadas y sirven como puertas que evitan la entrada de depredadores en los nidos (fragmosis) y ocurre en varias especies como, por ejemplo, en *Pheidole lamia* (Hölldobler y Wilson, 1996; Figura 3).

En la misma colonia, además de estas hormigas que llevan a cabo labores de defensa, existen otras hormigas pequeñas que pueden especializarse en el forrajeo, es decir, en buscar comida y llevarla a los

nidos para alimentar a los individuos jóvenes; mientras que otras pueden dedicarse a la construcción y mantenimiento del nido. Como podemos ver, la división del trabajo es fundamental para las hormigas ya que el trabajo organizado y coordinado les permite optimizar el consumo de energía (López-Riquelme y Ramón, 2010). Esta es una de las razones por las que las hormigas han sido un grupo tan exitoso.

EL MÁS DIVERSO, EL GÉNERO *PHEIDOLE*

Entre todos estos grupos de hormigas existe uno que, debido al gran número de especies que posee, ha sido denominado como hiperdiverso (Wilson, 2003). Nos referimos a un género de hormigas llamado *Pheidole*, con alrededor de 1,160 especies (Bolton, 2023).

Este género se distingue por tener una terminación en las antenas compuesta de tres porciones o artejos ensanchados, comparados con el resto; un propodeo armado, es decir, con un par de espinas en el cuerpo; presencia de peciolo y pospeciolo; y, generalmente, la presencia de dos subcastas bien definidas: las obreras menores y las soldados (Figura 2), aunque en algunas pocas especies este género presenta una tercera subcasta llamada supersoldado (Wilson, 2003).

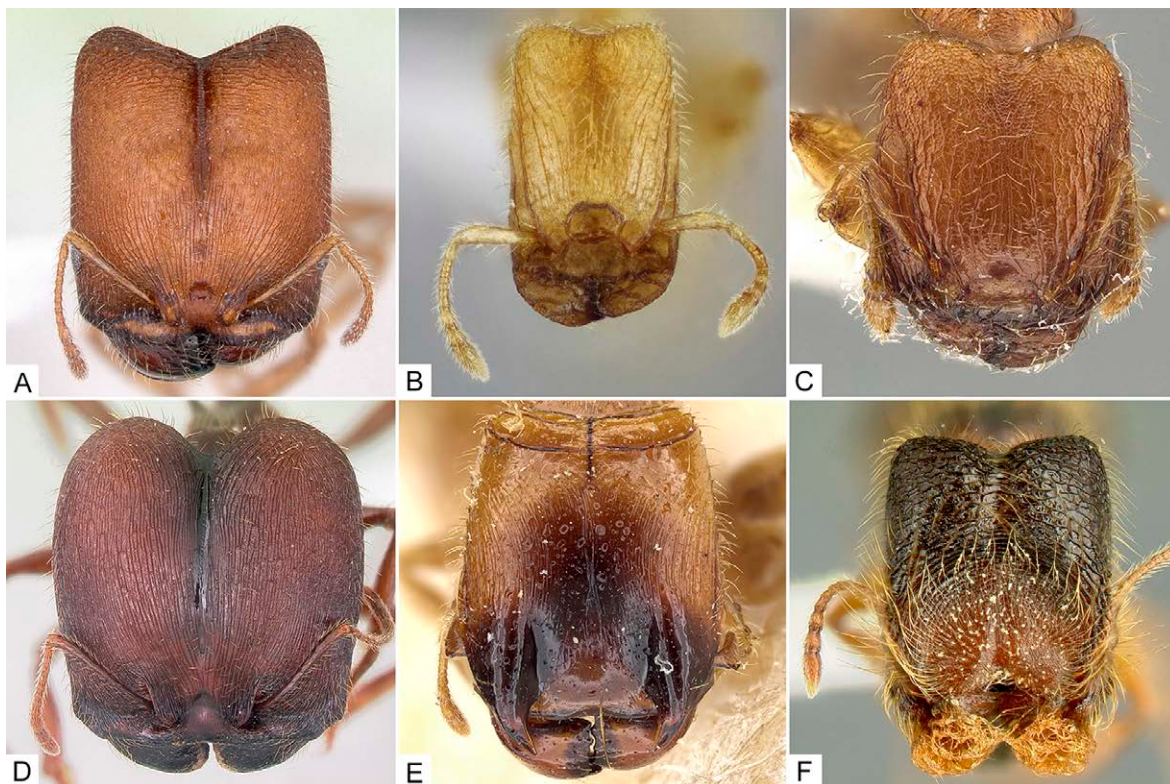


Figura 3. Diversidad en la forma de la cabeza, vista de frente, de soldados de *Pheidole*. A) *Pheidole tepicana*, B) *Pheidole lamia*, C) *Pheidole tachigaliae*, D) *Pheidole rhea*, E) *Pheidole taurus*, F) *Pheidole bigote* (fotografías de April Nobile, César Vázquez, J. Longino y Z. Lieberman; cortesía de AntWeb: www.antweb.org).

Dentro de *Pheidole* podemos encontrar casi cualquier cosa, ya que en ese género hay especies extremadamente pequeñas, como *Pheidole tachigaliae*, que mide poco más de 1 mm; o algunas extremadamente grandes, como *Pheidole rhea*, con supersoldados que superan 1 cm de longitud (Wilson, 2003). Algunas poseen adaptaciones morfológicas, principalmente en la cabeza, como *Pheidole taurus*, cuyos soldados poseen “cuernos”; o *Pheidole lamia*, con soldados con cabezas chatas o fragmóticas; también tenemos la *Pheidole bigote*, cuyo nombre no deja gran cosa a la imaginación (Figura 3).

La gran diversidad de estas hormigas no solo se refleja en su tamaño o su forma, sino en sus hábitats (el lugar donde viven) y hábitos alimentarios (lo que comen). Por ejemplo, hay algunas que viven en el dosel de los árboles (*Pheidole rima*) (Longino, 2009), mientras que otras anidan debajo de rocas

(*Pheidole obtusospinosa*). A pesar de que la mayoría come de todo un poco, algunas están especializadas en comer a otros animales, como *Pheidole megacephala*, que es depredadora (Dejean *et al.*, 2007); *Pheidole capellini*, que come el néctar de las plantas (Wang *et al.*, 2018); o *Pheidole spathifera*, que come materia orgánica muerta o en descomposición. Otras especies de *Pheidole* almacenan semillas de las que posteriormente se alimentarán (*Pheidole tepicana* o *Pheidole noda*), por lo que las llamamos granívoras.

Precisamente, las hormigas *Pheidole* que almacenan semillas fueron las primeras especies del género en conocerse y por esta capacidad de almacenar comida o de ahorrar es que se llaman *Pheidole*, que deriva del griego *Pheidolo*, que significa ahorrativo, tal como la hormiga de la fábula de Esopo.

Esta capacidad de guardar las semillas cuando estas son muy abundantes en el ambiente, ha resultado ser una ventaja para las especies que llevan

a cabo este tipo de “ahorro”, ya que pueden usar las semillas cuando no hay alimento disponible, lo que generalmente ocurre durante la temporada seca o durante la temporada de bajas temperaturas (Hölldobler y Wilson, 1996).

Sin embargo, es importante reconocer que los estudios recientes de las numerosas especies de *Pheidole* han descubierto el hecho de que no todas las hormigas de este género se alimentan de semillas ni almacenan su alimento.

En general, no suele ser común que haya grupos de insectos con un número de especies tan elevado como ocurre con el género *Pheidole*, lo que ha llevado a los biólogos a pensar en las posibles causas. Algunos han sugerido que la causa puede ser el hecho de que haya obreras con diferentes formas (polimorfismo), es decir, obreras y soldados, especializadas en tareas específicas, mientras que otros autores sugieren que la capacidad de ocupar diferentes nichos, es decir, dimensiones u ocupaciones en el ecosistema, moldea las adaptaciones en la forma y la conducta y, en consecuencia, se generan especies nuevas (Fernández, 2003; Wilson, 2003; Casadei-Ferreira *et al.*, 2021).

Lo cierto es que aún no hay una respuesta concreta con la que todos los estudiosos de las hormigas estén de acuerdo; de hecho, aún no sabemos con exactitud cuántas especies de *Pheidole* existen, pues cada año se describen y nombran más. Para México, hasta ahora, se conocen 126 especies que se pueden encontrar a todo lo largo del territorio (Vázquez-Franco y Morrone, 2021), pero es innegable que faltan muchas especies por identificar.

Como hemos visto, el género *Pheidole* es un grupo hiperdiverso, no solo porque sus especies son morfológicamente muy variadas, sino porque sus hábitos y forma de alimentación van más allá de la recolección, almacenamiento y consumo de semillas, como originalmente se describió para algunas especies.

Para cualquier biólogo que se haya enfrentado al estudio de las hormigas, los especímenes del género *Pheidole* representan siempre un desafío por la dificultad que representa su identificación y estudio.

Sin embargo, esto no debe ser un impedimento para estudiarlas, ya que solo así podremos resolver muchos de los aspectos que nos falta conocer sobre estas hormigas, algunos de los cuales hemos planteado en este artículo.

Y ahora que conocemos a estas hormigas y que sabemos que tienen una diversidad tan grande, te aseguro que la próxima vez que veas a una hormiga caminar por el suelo o las jardineras, es probable que quieras saber si se trata de una hormiga del género *Pheidole*, y nosotros esperamos que la curiosidad te lleve a querer verla con una lupa o un microscopio para saber más sobre ella.

R E F E R E N C I A S

- Bolton B (2023). *AntCat. An online catalog of the ants of the world*. California Academy of Sciences. Recuperado de: <https://antcat.org/>.
- Casadei-Ferreira A, Friedman NR, Economo EP, Pie MR and Feitosa RM (2021). Head and mandible shapes are highly integrated yet represent two distinct modules within and among worker subcastes of the ant genus *Pheidole*. *Ecology and Evolution* 11:6104-6118.
- Dejean A, Moreau CS, Uzac P, Le Breton J and Kenne M (2007). The predatory behavior of *Pheidole megacephala*. *Comptes Rendus Biologies* 330:701-709.
- Fernández F (2003). Las hormigas *Pheidole*: ¿Es la hiperdiversidad un fenómeno real o un artefacto? *Biota Colombiana* 4:3-5.
- Hölldobler B and Wilson EO (1996). *The Ants*. Harvard University Press, Cambridge.
- López-Riquelme GO y Ramón F (2010). El mundo feliz de las hormigas. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 13:35-48.
- Vázquez-Franco CM and Morrone JJ (2022). The genus *Pheidole* (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae) in Puebla, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 93:1-43.
- Wang S, Li J, Zhang Z, Chen M, Li S and Cao R (2019). Feeding-strategy effect of *Pheidole* ants on microbial carbon and physicochemical properties in tropical forest soils. *Applied Soil Ecology* 133:177-185.
- Wilson EO (2003). *Pheidole in the New World: A dominant, hyperdiverse ant genus*. Harvard University Press, Cambridge.

Leticia Ríos Casanova
César Maximiliano Vázquez Franco
Facultad de Estudios Superiores Iztacala
Universidad Nacional Autónoma de México
leticiarc@unam.mx

© José Kuri Breña. Serie Caracoles. Serigrafía, 1985.



Aminoácidos: ladrillos de la vida, trampa para un mayate

Luz Neri **Benítez Herrera**
David **Alavez-Rosas**

Las proteínas son vitales para los trabajos que realizan las células, así como para mantener la estructura, función y regulación de los tejidos y órganos de los seres vivos. Las proteínas están formadas por aminoácidos, los cuales son conocidos como las moléculas de la vida, ya que desempeñaron un papel clave en el surgimiento de la vida en la Tierra.

Curiosamente, el origen de los aminoácidos se remonta a poco después de la creación del universo, es decir, son muy viejos. Muchas de estas moléculas llegaron a la Tierra debido al impacto de meteoritos: podríamos decir que son extraterrestres.

Químicamente, los aminoácidos son moléculas orgánicas que contienen los grupos funcionales amino y ácido carboxílico (Figura 1). Existen cerca de 300 aminoácidos conocidos por el ser humano, veinte de los cuales se producen en la naturaleza. Sin embargo, solo diez (lisina, triptófano, histidina, fenilalanina, leucina, isoleucina, treonina, metionina, valina y arginina) se encuentran en la dieta de insectos y humanos.

Son los llamados “aminoácidos esenciales”, ya que no pueden ser sintetizados por el propio organismo (Figura 1). Los otros diez aminoácidos se consideran “no esenciales” porque pueden sintetizarse a partir de otros aminoácidos o componentes químicos similares.

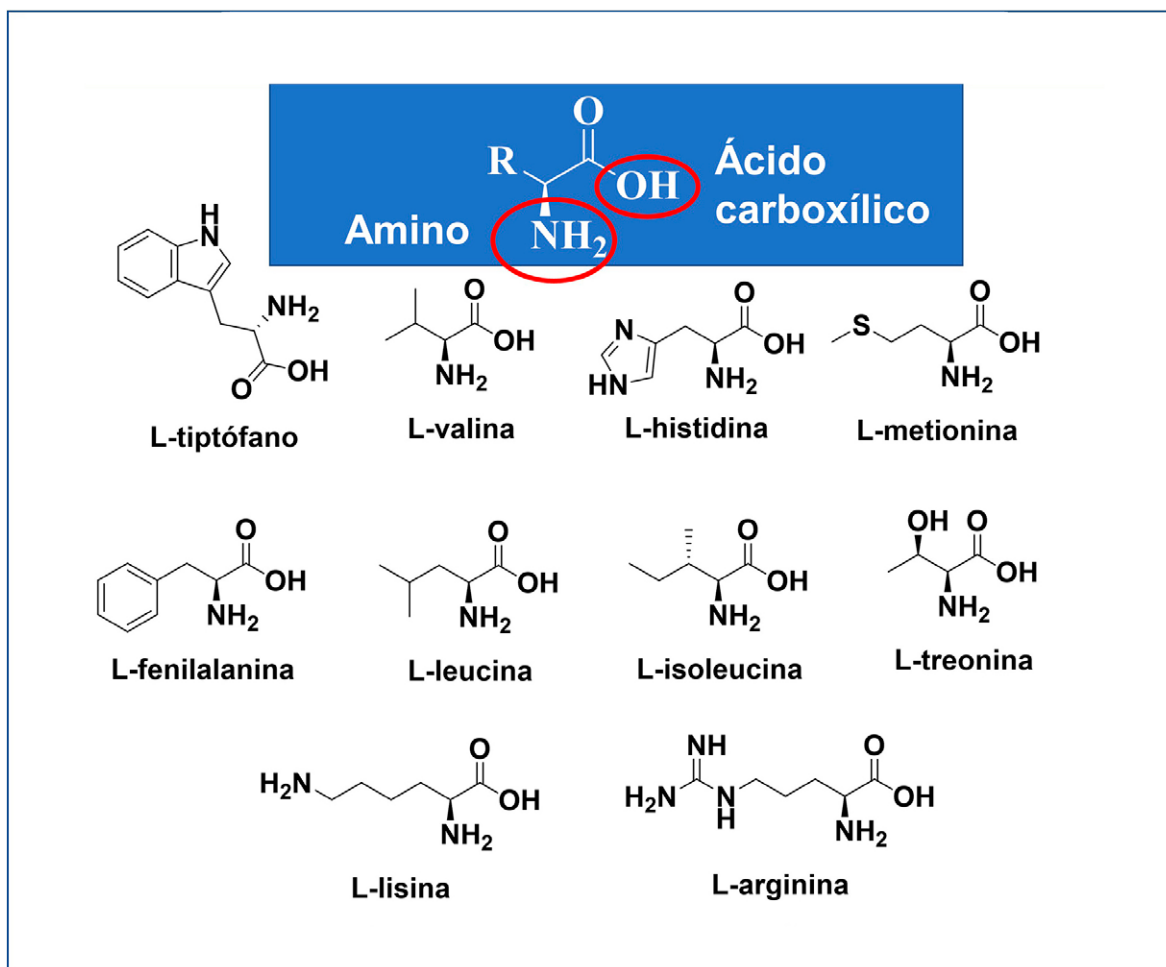


Figura 1. Grupos funcionales que constituyen un aminoácido y estructura química de los diez aminoácidos esenciales. Imagen de creación propia.

LAS MOLÉCULAS DE LA VIDA COMO PRECURSORES DE FEROMONAS

Los aminoácidos son de especial relevancia para los mayates, ya que además de ser las unidades fundamentales de las proteínas, algunas de las especies de estos insectos los usan como precursores de sus feromonas sexuales. Los compuestos éster metílico de L-valina y éster metílico de L-isoleucina son moléculas utilizadas como feromonas sexuales en diferentes especies de *Phyllophaga* (Romeo-López *et al.*, 2005).

Los aminoácidos (excepto la glicina) tienen una propiedad llamada, quiralidad. Es decir, estos compuestos existen bajo dos formas que se diferencian de la misma manera en que distinguimos

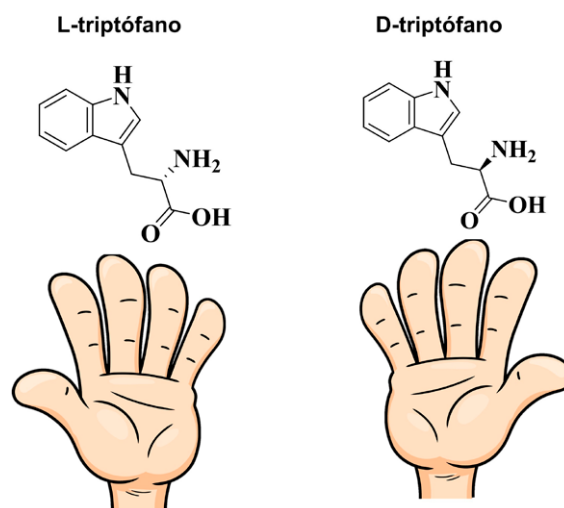


Figura 2. Representación de la quiralidad de los aminoácidos en su forma L y D del triptófano. La quiralidad es un concepto fascinante en química, y se refiere a la propiedad de ciertas moléculas de no ser superponibles con su imagen especular. Es decir, no pueden ser transformadas en su propia imagen reflejada mediante una rotación o traslación. Esto significa que las moléculas quirales existen en dos formas que son imágenes especulares entre sí, conocidas como enantiómeros, y pueden exhibir propiedades químicas y biológicas distintas. Imagen de creación propia.

la mano derecha y la izquierda; para designarlas, los bioquímicos utilizan la nomenclatura L y D (Figura 2).

Todas las proteínas naturales de todos los organismos vivos consisten en L-aminoácidos, y esta asimetría constituye hoy en día uno de los retos más difíciles de contestar sobre los procesos químicos que produjeron la vida en nuestro planeta. En concordancia con lo anterior, se ha observado que las feromonas de los mayates son derivados de los aminoácidos L; en otras palabras, estos insectos producen y detectan de forma exclusiva los aminoácidos L. A pesar de tantos años de estudio, la ciencia aún no sabe por qué la naturaleza desarrolló la vida con los aminoácidos L y no con los D.

LA COMUNICACIÓN QUÍMICA SEXUAL DE LOS MAYATES

Los mayates o ronrones (Figura 3), así como otros insectos, son fábricas vivientes de sustancias químicas; tienen glándulas especializadas para producir y liberar moléculas que son usadas como mensajes. Las feromonas, que son parte de este grupo de moléculas, pueden provocar un cambio en el comportamiento de otro organismo siempre y cuando sea de la misma especie.

En dependencia del efecto que generen, las feromonas pueden ser de alarma, sexuales, de agregación, entre otras (Regnier y Law, 1968); dichas moléculas odoríferas son captadas por los mayates mediante receptores especializados localizados en las antenas (Figura 3) (Romero-López *et al.*, 2004).

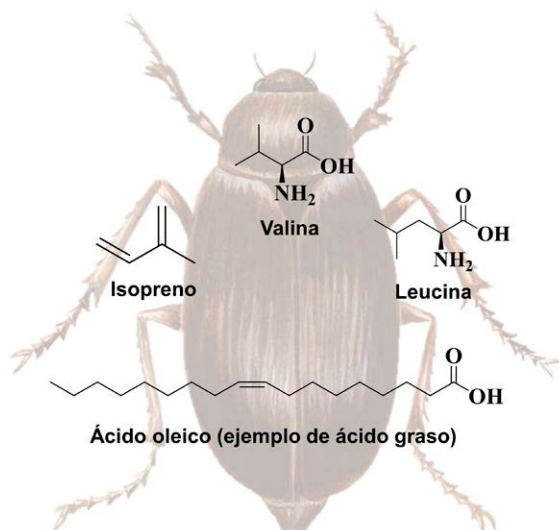


Figura 4. Estructura química de algunos compuestos químicos identificados como precursores de feromonas de distintas especies de mayates. Imagen de creación propia.

Las feromonas más estudiadas en los mayates son las sexuales, ya que pueden ser utilizadas para el manejo y monitoreo de aquellas especies denominadas “plagas”.

Los escarabajos utilizan diferentes compuestos para fabricar las feromonas sexuales; por ejemplo, el isopreno, los ácidos grasos o distintos aminoácidos, como la valina y la leucina (Figura 4) (Leal, 1998).

Las feromonas sexuales, en el caso particular de los mayates, las producen las hembras en glándulas que se localizan en el abdomen. Cuando las hembras emergen del suelo y vuelan hacia alguna planta hospedera, enseguida agitan vigorosamente el abdomen o exponen una glándula para liberar la feromona y dar inicio al llamado sexual. Dentro de esta bella sinfonía química, los machos detectan las feromonas utilizando los receptores de sus antenas (Figura 3); esto provoca una cascada de impulsos nerviosos que le genera al macho la necesidad de buscar a una hembra y llevar a cabo el apareamiento (Zarbin *et al.*, 2007).

USO DE AMINOÁCIDOS PARA EL MANEJO DE LOS MAYATES

Diversas especies de mayates de los géneros *Phyllophaga*, *Macroductylus*, *Orizabus*, y *Paranomala* se

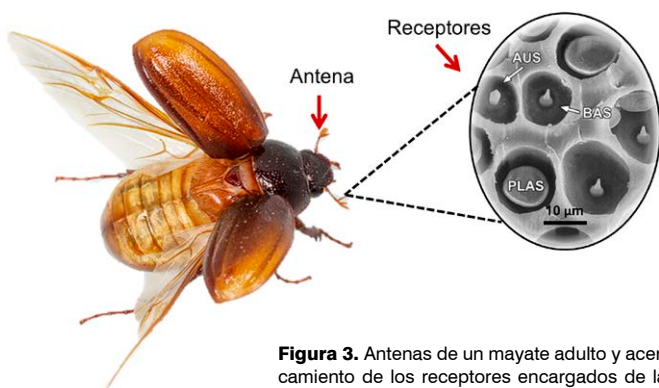


Figura 3. Antenas de un mayate adulto y acercamiento de los receptores encargados de la recepción de las moléculas odoríferas. AUS auriclicos, BAS basicónicos, PLAS placoideos. Imágenes tomadas y editadas de Romero-López *et al.* (2004) y © Patrick Coin.



© José Kuri Breña. *Caracol*. Bronce a la cera perdida, 1995.

han convertido en plagas de una variedad de cultivos agrícolas (Morón y Rodríguez del Bosque, 2010).

Una estrategia para disminuir sus poblaciones es mediante el uso de trampas cebadas con feromonas sexuales.

Hace ya algunos años, en Estados Unidos y Canadá se evaluó en campo la respuesta de *Phyllophaga anxia* hacia trampas que contenían los compuestos éster metílico de L-valina y éster metílico de L-isoleucina (LIME, por sus siglas en inglés), feromona sexual de dicha especie.

En este estudio se usaron diferentes proporciones de estos compuestos, obteniendo como resultado grandes capturas de este escarabajo. Sorprendentemente, estos mismos compuestos resultaron atractivos para otras especies de *Phyllophaga* (Robbins *et al.*, 2006).

En Centroamérica, particularmente en Costa Rica, hace tiempo también se realizaron evaluaciones en campo. En este caso se usaron trampas cebadas únicamente con éster metílico de L-isoleucina, feromona de *P. elenans*, plaga de la caña de azúcar. Los resultados fueron bastante interesantes porque,

aparte de evaluar la eficacia de la feromona, se dio a conocer que la hora, la posición de la trampa, la cantidad de feromona colocada en cada trampa, así como el tipo de trampa, son factores importantes para aumentar la captura de insectos y, en consecuencia, la eficiencia en el trampeo (Oehlschlager *et al.*, 2003).

En México, específicamente en la región de los Altos de Chiapas, nuestro grupo de investigación ha realizado algunas pruebas preliminares en campo. Utilizamos éster metílico de L-valina y éster metílico de L-isoleucina en diferentes proporciones; estos compuestos se colocaron en septos dentro de trampas tipo embudo que posteriormente serían colocadas en campo.

La finalidad de este estudio exploratorio fue conocer si había una atracción hacia dichos compuestos por parte de especies de *Phyllophaga* distribuidas en esta región.

Trabajamos bajo este esquema debido a que en otros estudios se ha demostrado que los compuestos o una parte de ellos pueden constituir las feromonas de diferentes especies hermanas, aunque la proporción de los compuestos siempre va a ser específica para cada especie.



© José Kuri Breña. Serie *Caracoles*. Serigrafía, 1985.

Los resultados de las pruebas nos permitieron descubrir que estos aminoácidos atraen a algunos mayates. Sin embargo, aún queda por determinar la especie. Además, dado que fueron evaluaciones exploratorias, es necesario realizar una investigación amplia sobre el posible uso de estos compuestos para especies del género *Phyllophaga* que se consideran plagas.

CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS

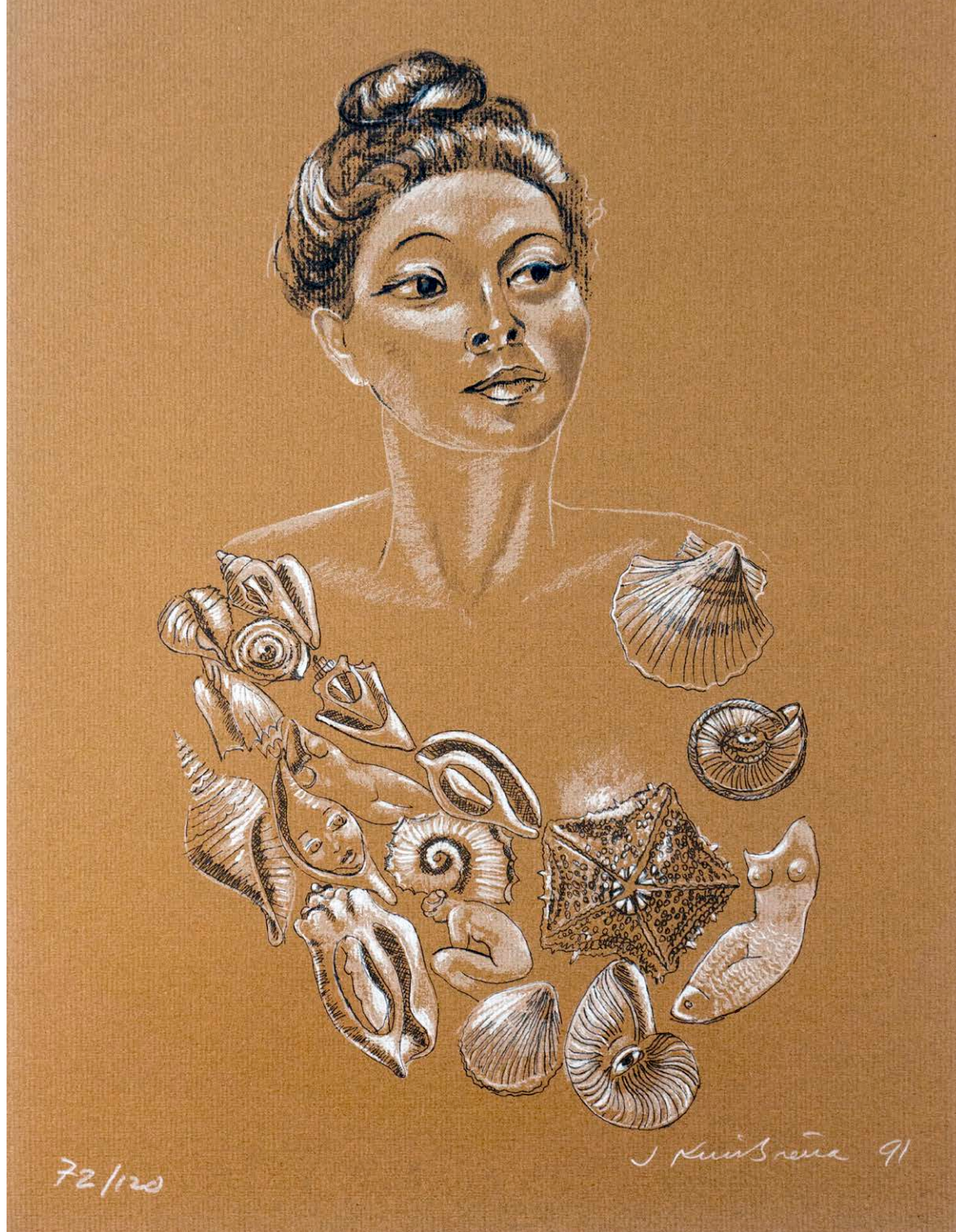
A pesar de los grandes esfuerzos realizados, aún hay mucho por hacer en el campo de la ecología química de los mayates. Por ejemplo, identificar las feromonas de otras especies plaga, incorporar técnicas de metabolómica (análisis sistemático de los metabolitos que se generan durante los procesos celulares) en el estudio de su comunicación química sexual, y profundizar en la neurofisiología del insecto.

Continuar con estos trabajos permitirá entender el comportamiento y las interacciones de este insecto con las plantas y cultivos asociados, y generará la información necesaria para desarrollar métodos efectivos para el manejo de sus poblaciones.

Pensamos que las feromonas involucradas en la comunicación química sexual de los mayates pueden ser compuestos potenciales para la vigilancia y manejo de estas especies.

REFERENCIAS

- Leal WS (1998). Chemical ecology of phytophagous scarab beetles. *Annual Review of Entomology* 43:39-61. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.39>.
- Morón MA y Rodríguez del Bosque LA (2010). Importancia, historia y retos. En Rodríguez del Bosque LA y Morón MA (Eds.) *Plagas del Suelo* (pp. 3-17). Mundi Prensa, México.
- Oehlschlager AC, Leal WS, Gonzalez L, Chacon M and Andrade R (2003). Trapping of *Phyllophaga elenans* with a female-produced pheromone. *Journal of Chemical Ecology* 29:27-36. DOI: <https://doi.org/10.1023/a:1021968311786>.
- Regnier FE y Law JH (1968). Insect pheromones. *Journal of Lipid Research* 9:541-551. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)42699-9](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)42699-9).
- Robbins PS, Alm SR, Armstrong C et al. (2006). Trapping *Phyllophaga* spp. (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae) in the United States and Canada using sex attractants. *Journal of Insect Science* 6:1-124. DOI: https://doi.org/10.1673/2006_06_39.1.
- Romero-López AA, Arzuffi R, Valdez J, Morón MA, Castrejón-Gómez V and Villalobos FJ (2004). Sensory organs in the antennae of *Phyllophaga obsoleta* (Coleoptera: Melolonthidae). *Annals of the*



© José Kuri Breña. Serie Caracoles II. Serigrafía, 1991.

Entomological Society of America 97:1306-1312. DOI: [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2004\)097\[1306:SOITAO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2004)097[1306:SOITAO]2.0.CO;2).

Romero-López AA, Arzuffi R y Morón MA (2005). Feromonas y atra-yentes sexuales de coleópteros Melolonthidae de importancia agrí-cola. *Folia Entomológica Mexicana* 44:233-245.

Zarbin P, Leal W, Ávila C and Oliveira L (2007). Identification of the sex pheromone of *Phyllophaga cuyabana* (Coleoptera: Melolonthi-

dae). *Tetrahedron Letters* 48:1991-1992. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2007.01.075>.

Luz Neri Benítez Herrera
Facultad de Ciencias Biológicas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
luzneribh@gmail.com

David Alavez-Rosas
Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México

La ética en la investigación educativa

Yolanda **González de la Torre**

Convengamos en lo siguiente: cualquier actividad de investigación, por la participación de seres humanos en ella, plantea algunos dilemas sobre lo éticamente correcto o incorrecto de ciertas acciones.

En el ámbito de la educación, donde trabajan e investigan profesionales de distintas disciplinas, con perspectivas teóricas y metodológicas variadas, también puede existir diversidad en cuanto a posturas éticas de individuos y grupos (Parrilla, 2010). Por ejemplo, no todos los medios que se encuentren al alcance del investigador educativo son lícitos para llevar a cabo sus fines. Ejercer coersión o, en su caso, premiar a personas para hacerles participar en una investigación, sea que se trate de colaboradores o individuos que formen parte del trabajo de campo, ilustra lo anterior entre otras situaciones. Existen derechos que no deben ser quebrantados para no atentar contra la convivencia, la dignidad, la privacidad y la sensibilidad de personas e instituciones (Sañudo, 2006).

Estas páginas aportan una reflexión encaminada a examinar algunas implicaciones éticas de la actividad del investigador educativo y su impacto en la sociedad.

En un primer momento, se presenta una breve exposición teórica acerca de comportamientos que han dado lugar a la construcción de códigos de ética emitidos por organizaciones de diferentes regiones encargadas de regular la investigación y la ciencia. Posteriormente, se presenta una discusión sobre implicaciones éticas de la actividad del investigador educativo; particularmente,

la existencia de dilemas y confrontaciones durante su labor, la cual no se asume como neutra, sino situada en horizontes socioculturales donde se asigna sentido ético a determinadas prácticas, tanto a escala individual como colectiva. Entremos, pues, en materia.

LA ÉTICA Y SU SENTIDO EN LA ACTIVIDAD DEL INVESTIGADOR EDUCATIVO

Uno de los aspectos más importantes dentro del trabajo del investigador educativo tiene que ver no solo con sus capacidades y habilidades, sino también con el comportamiento que muestra ante los participantes que vienen a ser objeto de estudio y con sus compañeros de trabajo. Frente a ambos actores debe adoptar conductas de respeto e integridad a lo largo de todo el proceso en el que lleva a cabo la investigación. Un comportamiento íntegro hace referencia a la actuación de acuerdo con normas o principios éticos. Incluso existen en las instituciones códigos de ética, los cuales, según Wanjiru (1999), cumplen tres funciones principales: ofrecer directrices para orientar una profesión, servir como fuente de socialización e identidad y prevenir la posibilidad de que el ejercicio de la profesión se altere o se degrade.

En concordancia con lo anterior, se puede decir que en todas las profesiones se espera un correcto proceder conforme al servicio que se presta y a las poblaciones a las que se dirige. La investigación educativa no queda fuera de ello.

Por ejemplo, en Estados Unidos, Gardner *et al.* (2002) citan el surgimiento de la Asociación Americana de Investigación Educativa (AERA, por sus siglas en inglés¹), que desde los años noventa ha incluido en cinco principios relacionados con la investigación y sus agentes una serie de referentes de conducta: 1) competencia profesional; 2) integridad; 3) responsabilidad profesional, científica y académica; 4) respeto de los derechos de las personas, la dignidad y diversidad; y 5) responsabilidad social (AERA, 2011).

Otros organismos también han procurado establecer directrices a partir de las cuales se erigen líneas éticas de acción en el desarrollo de una investigación, como la Asociación Británica de Investigación Educativa (BERA). Esta instancia resalta la responsabilidad de investigadores, informantes, patrocinadores y todos aquellos interesados en la investigación, tanto durante el proceso de su realización como cuando se llega a la publicación y difusión de los resultados en los medios disponibles. En ambos casos se deben promover principios éticos como el respeto, la confianza y el compromiso con las decisiones tomadas (BERA, 2019).

Como se puede observar en los referentes anteriores, diversos organismos han establecido estándares éticos para los investigadores a partir de los cuales se plantea llevar a cabo su trabajo dentro de un marco de protección a los participantes y de honestidad respecto a las tareas que son parte del proceso de investigación; sin embargo, no siempre un código contempla todas las situaciones que se dan durante la actividad de investigar.

En ocasiones surgen imprevistos que confrontan al investigador a aplicar su sentido común y sus valores a fin de decidir lo mejor ante una situación que constituye un dilema ético. Este, de acuerdo con Sánchez (1997), genera una confrontación personal de la que se desprende una toma de conciencia de sí mismo frente al otro en diferentes etapas y escenarios de la investigación. Garza (2004) describe la presencia de un dilema cuando en algún momento del proceso de investigación se presentan básicamente dos alternativas de consecuencias distintas que obligan a una elección. Es el investigador quien de manera constante reflexiona acerca de las implicaciones éticas de su trabajo y toma decisiones ajustadas a cada caso (Abad, 2016).

Un ejemplo que ilustra lo anterior ocurre cuando, dentro del desarrollo de una investigación hay objetivos en los que se pone en tela de juicio la efectividad de alguna estrategia y se solicita la colaboración de una persona que forma parte de la investigación como participante de estudio. Al contemplar cómo entre los resultados de la investigación es posible

desprender una crítica, ¿lo conveniente es tomar una actitud “políticamente correcta” para no sesgar la obtención de los datos o decirle la verdad al participante? Como se aprecia en este caso hipotético de investigación educativa, a diferencia de otras disciplinas, como las ciencias de la salud, obtener el “consentimiento informado” de los participantes conlleva implicaciones de carácter político.

Afirmamos esto porque, en algunos casos los datos recolectados para una investigación pueden devenir en una crítica para algunas instituciones respecto, por ejemplo, a la efectividad de sus acciones y ello entraría en confrontación con los actores a cargo de tales acciones, en particular con los responsables de gestión y toma de decisiones de ciertos programas.

ALGUNOS DILEMAS

Una enumeración posible de etapas² del proceso investigativo comprende: 1) definición del proyecto, 2) desarrollo de la investigación (particularmente el trabajo de campo), 3) redacción del reporte, y 4) difusión de los resultados. En cada una de ellas aparecen dilemas de naturaleza ética que llevan al investigador a tomar decisiones. Veamos en el Cuadro 1 cuáles son estas etapas y los dilemas que suscitan.

Otros aspectos susceptibles de una mirada ética son aquellos que tienen que ver con las formas de colaboración entre colegas. Allí es posible apreciar la presencia o ausencia de valores como la solidaridad y la generosidad; por ejemplo, en el intercambio de información, en la distribución de las cargas de trabajo y de los beneficios generados por este. Asimismo, organismos que auspician la realización de la actividad de investigación, como las universidades y los consejos de ciencia nacionales, imponen reglas de acceso y producción con las cuales pueden predisponer a quien hace investigación a posturas pragmáticas que eventualmente se contrapongan al interés legítimo por generar conocimiento.

Sin pretender asumir que la investigación educativa es una actividad desprovista de intereses de otra naturaleza, enseguida se concentran algunos de los puntos de posible conflicto precisamente entre las motivaciones, expectativas y normas del investigador educativo en tres niveles de escenarios en los cuales se desenvuelve (Cuadro 2).

PARA TERMINAR

De lo señalado anteriormente en torno a la relación entre el trabajo del investigador educativo y algunas cuestiones éticas, puede concluirse que existe un conjunto de motivaciones y normas que enmarcan

Etapa de investigación	Ejemplos de dilemas de carácter ético
Definición del proyecto	Atender a intereses propios de investigación o tener que ajustarse a los temas promovidos por alguna institución financiadora.
Desarrollo de la investigación (trabajo de campo)	Declarar o no los objetivos a los informantes acerca de los fines de la investigación para no sesgar los resultados. Respetar que algún informante se niegue a participar o convencerlo mediante algún estímulo.
Redacción del reporte	Reconocer u omitir la autoría de algunas referencias. Sostener o modificar la perspectiva acerca del objeto. Respetar o sesgar la interpretación de datos.
Difusión de los resultados	Elegir espacios con dictaminadores críticos o procurar la intervención de otros para conseguir publicaciones.

Cuadro 1. Dilemas éticos en etapas de una investigación.
Fuente: elaboración propia.

Contextos	Cuestiones éticas a atender
Personal	En este contexto el sujeto, a lo largo de su socialización desde su hogar, su formación básica, universitaria y su actuación en una comunidad académica, ha incorporado normas que pueden entrar en conflicto con sus intereses y fines individuales durante el desarrollo de su trabajo como investigador educativo.
Institucional	Las instituciones en las cuales colabora un investigador educativo poseen códigos explícitos e implícitos que norman el comportamiento de los que allí se desempeñan; de igual forma se regula su producción, en algunas ocasiones alentando su desarrollo, en otras ocasiones con la presión de cumplir, por ejemplo, con “mínimos de productividad”. Esto puede entrar en conflicto con la libertad del investigador para decidir sobre lo que quiere indagar, así como sobre la calidad de su producción, por ejemplo, cuando se tienen que cumplir con determinados tiempos por hallarse dentro de un programa de formación o contar con un financiamiento externo. Cabe mencionar, como extensión de lo anterior, la presencia de códigos de ética para los autores en distintas publicaciones (<i>Educare, Revista Electrónica de Investigación Educativa</i> , entre otras) que norman en lo general aspectos vinculados al cuidado y a la confidencialidad de los participantes de quienes se obtienen los datos.
Social	La sociedad espera de la universidad y de los investigadores educativos aportaciones que le permitan un avance y desarrollo, de tal modo que mejore la calidad de educación en todos sus niveles. Esto puede entrar en conflicto con la demanda de conocimiento de las instituciones escolares y lo que los investigadores eligen como objeto de estudio, entre otras razones por la inversión de tiempo y recursos frente a la relevancia social o impacto de lo que se investiga en las directrices teóricas y de trabajo para escuelas y universidades, por ejemplo.

Cuadro 2. Motivaciones en diferentes contextos. Fuente: elaboración propia.

el sentido de los proyectos de investigación y el alcance de la producción científica. Consecuencia de ello es la conciencia del investigador educativo acerca del valor y la dignidad que tiene todo ser humano, de tal forma que durante su actividad debe mostrar un permanente respeto por los participantes con quienes trabaja, así como por la dinámica social y cultural del entorno al que pertenecen (Altarejos *et al.*, 2003).

A propósito del entorno, otro de los temas relevantes vinculados a una perspectiva ética de la investigación es el de la pertinencia social del conocimiento producido. Este es un criterio de valoración de la función de la universidad y de las otras instituciones y agentes encargados de producir conocimiento a través del cual se retribuye mérito a lo producido, en términos de su utilidad para el mejoramiento de la humanidad.

De otra manera, todos los procesos y el gasto asociado a ellos del que muchos académicos disponen pueden ser considerados un derroche, frente

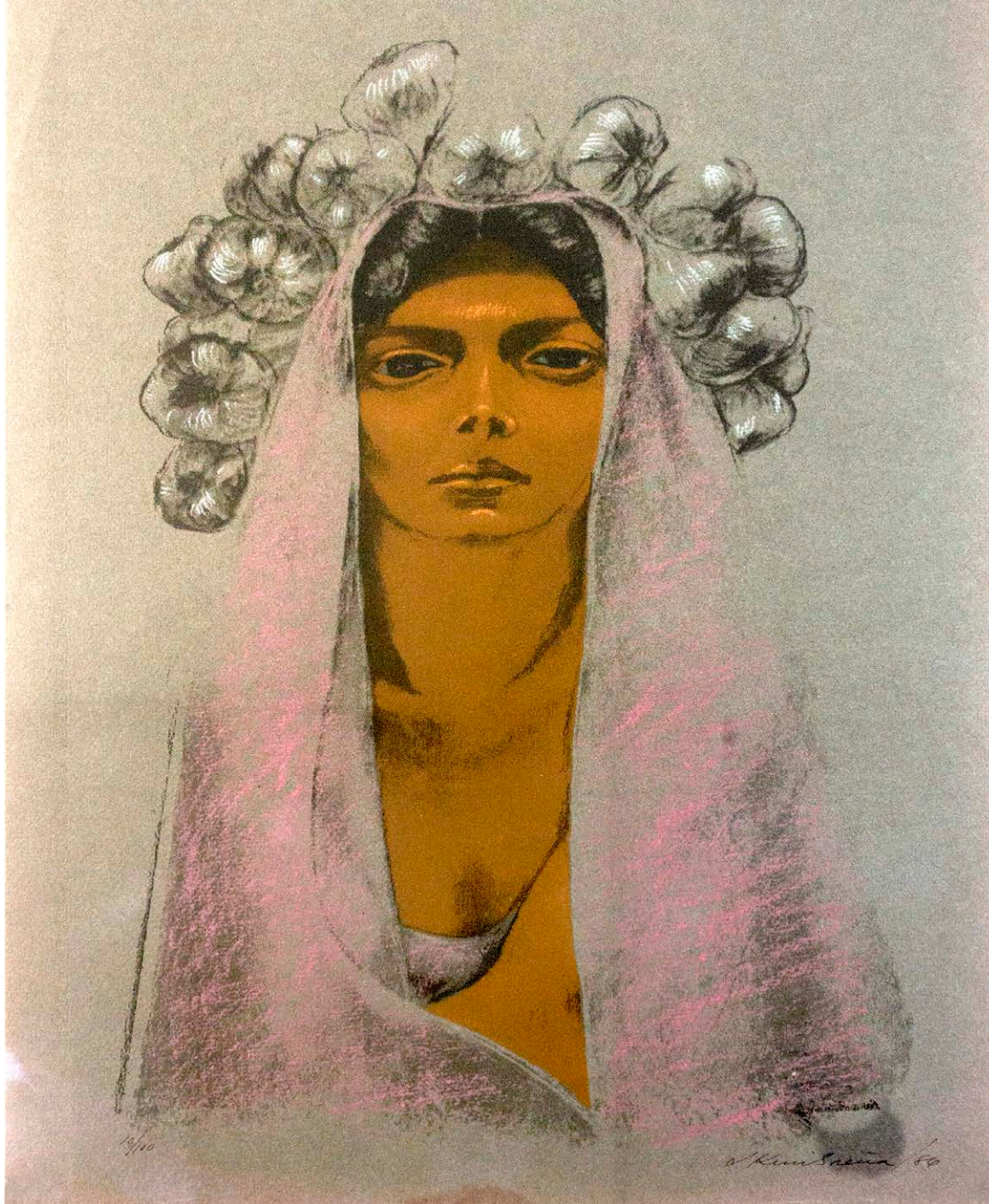
a la irrelevancia de aportaciones que no provocan un mínimo de transformación educativa ni social (Ferreya y Blanas, 2011).

No hay duda de que puede formularse y transmitirse un código de conducta científica responsable y comprometida, pero una ética científica no se reduce a un conjunto de reglas, del mismo modo que la propia ciencia no se agota en un puñado de procedimientos canónicos (Parrilla, 2010).

En cualquier práctica científica emergerán siempre incontables situaciones no previstas en un cuerpo legal; por claras que sean las normas establecidas, siempre aparecen situaciones particulares en las que el investigador debe tomar decisiones donde se traduce su propio código ético de vida, de acuerdo con los propósitos que se plantea, el impacto que pretende conseguir con su profesión y la manera de entender su deber.

NOTAS

¹ En este texto se mencionan otras fundaciones y asociaciones norteamericanas y europeas. En adelante, al indicar sus siglas, se evita la indicación “por sus siglas en inglés”.

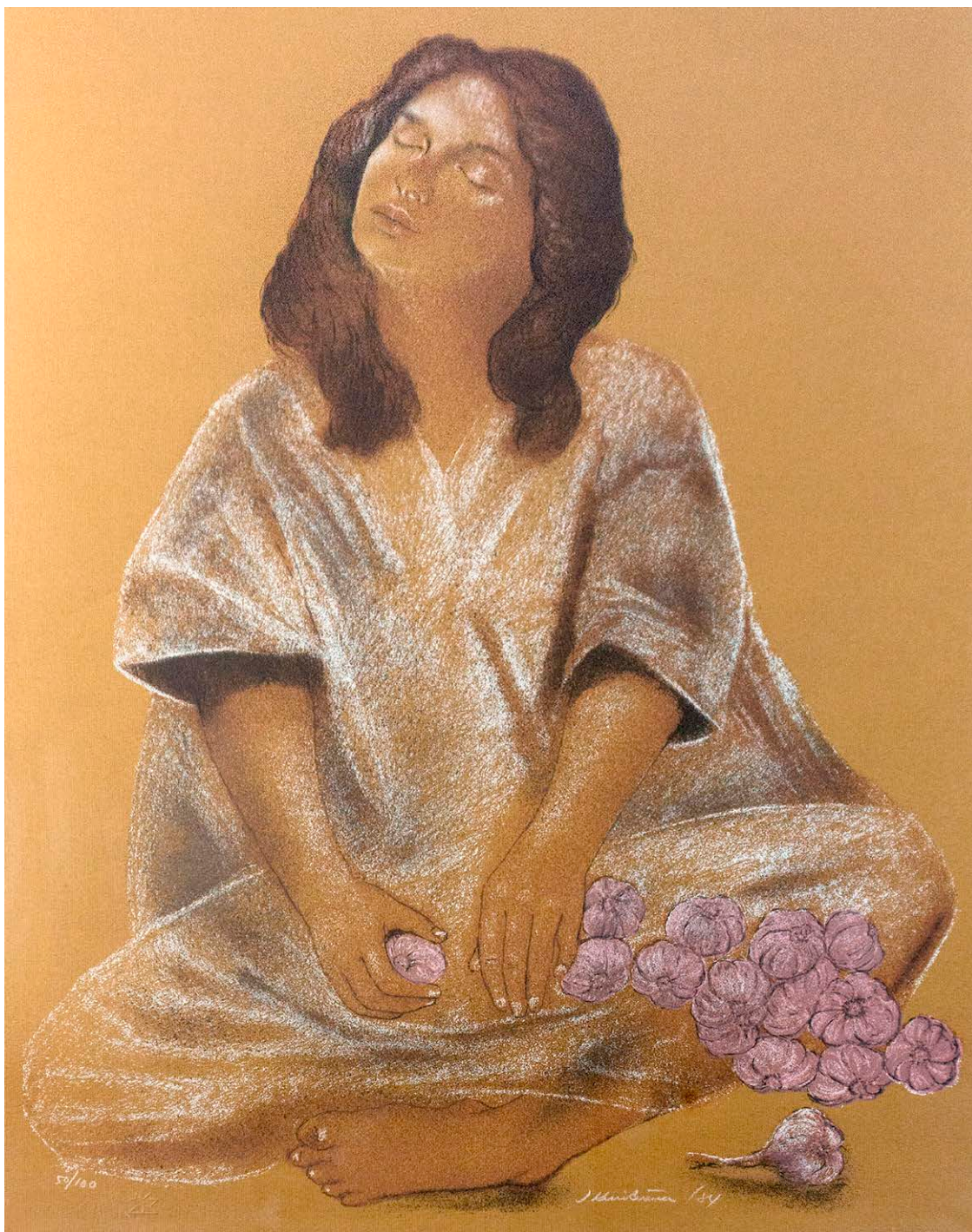


© José Kuri Breña. Serie Ajos. Serigrafía, 1986.

² Las etapas consideradas se incluyen solo con el propósito de distinguir momentos de trabajo en los cuales se generan productos escritos específicos y se comparten con alguna comunidad académica.

REFERENCIAS

- Abad B (2016). Investigación social cualitativa y dilemas éticos: de la ética vacía a la ética situada. *EMPIRIA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales* 34:101-119. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=297145846004>.
- American Educational Research Association (AERA) (2011). Code of ethics. *Educational research*, 40(3):145-15. Recuperado de: www.weraonline.org/resource/resmgr/a_general/aera.pdf.
- Altarejos F, Ibáñez-Martín J, Jordán J y Jover G (2003). *Ética docente*. Barcelona: Ariel.
- Asociación Británica de Investigación Educativa (BERA) (2019). *Guía ética para la investigación educativa*. Londres. Recuperado de: <https://www.bera.ac.uk/publication/guia-etica-para-la-investigacion-educativa>.
- Ferreira H y Blanes G (2011). La investigación educativa: un compromiso ético para la promoción de la calidad de vida y el respeto por la dignidad humana. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación* 9(2):46-60.
- Garza J (2004). *Valores para el ejercicio profesional*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Gardner H, Csikszentmihalyi M y Damon W (2002). *Buen trabajo. Cuando ética y excelencia convergen*. Barcelona: Paidós.



Parrilla A (2010). Ética para una investigación inclusiva. *Revista de Educación Inclusiva* 3(1), 165-174. Recuperado de: <https://revista.educacioninclusiva.es/index.php/REI/article/view/218/212>.

Wanjiru Gichure C (1999). *La ética de la profesión docente*. Barañáin, Navarra: EUNSA.

Sánchez C (1997). Dilemas éticos de la investigación educativa. *Revista de Educación* 312:271-280. Recuperado de: [http://files.formacionintegral.](http://files.formacionintegral.webnode.es/200000052-798887b3d8/DILEMAS%20%C3%89TICOS%20DE%20LA%20INVESTIGACI%C3%93N%20EDUCATIVA%20S%C3%81NCHEZ.pdf)

[webnode.es/200000052-798887b3d8/DILEMAS%20%C3%89TICOS%20DE%20LA%20INVESTIGACI%C3%93N%20EDUCATIVA%20S%C3%81NCHEZ.pdf](http://files.formacionintegral.webnode.es/200000052-798887b3d8/DILEMAS%20%C3%89TICOS%20DE%20LA%20INVESTIGACI%C3%93N%20EDUCATIVA%20S%C3%81NCHEZ.pdf).

Sañudo L (2006). La ética en la investigación educativa. *Hallazgos* 3(6):83-98. Recuperado de: <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/hallazgos/article/view/1639/1792>.

Yolanda González de la Torre
Universidad de Guadalajara
ygtorre@hotmail.com

Obesidad y fertilidad femenina: opciones quirúrgicas

Angélica Trujillo Hernández
María Concepción Puga

Millones de mujeres en México y en todo el mundo enfrentan diariamente no solo la lucha contra la báscula, sino también el estigma y la amenaza silenciosa que obstaculiza su anhelo de convertirse en madres: la obesidad. Frente a este desafío, es crucial explorar soluciones efectivas. Este artículo se centra en discutir las opciones quirúrgicas disponibles para combatir la obesidad. Para ello, examinaremos su eficacia, sus riesgos y el impacto en el éxito reproductivo de las pacientes.

¿QUÉ ES LA OBESIDAD?

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el sobrepeso y la obesidad se definen como una acumulación anormal o excesiva de grasa que puede resultar perjudicial para la salud. El índice de masa corporal (IMC) es un indicador simple de la relación entre el peso y la estatura, y se emplea para identificar el sobrepeso y la obesidad en adultos. Un IMC superior a 25 señala la presencia de sobrepeso, mientras que valores superiores a 30 se consideran obesidad (WHO, 2000).

La obesidad no solo representa un desafío de salud pública en México, sino a nivel global. No obstante, México figura entre los países con las tasas más elevadas de obesidad en mujeres.

Según datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), más del 70 % de las mujeres en México presentan sobrepeso u obesidad, situándonos con una tasa de obesidad femenina superior incluso a la de Estados Unidos, país que ocupa el segundo lugar en esta problemática a nivel mundial (OECD, 2017). Es crucial resaltar que la obesidad conlleva consecuencias serias para la salud, ya que incrementa el riesgo de desarrollar enfermedades como diabetes, hipertensión y cáncer, además de tener implicaciones significativas en la salud reproductiva.

OBESIDAD Y REPRODUCCIÓN

En la actualidad, se reconoce la conexión entre la obesidad y los trastornos en los mecanismos de reproducción. Se ha demostrado una fuerte relación entre el aumento del IMC y la disminución de la capacidad reproductiva, y se ha observado que las mujeres con sobrepeso son menos propensas a concebir, en comparación con aquellas que mantienen un IMC normal. Además, las mujeres con obesidad tienen un mayor riesgo de infertilidad, irregularidades menstruales, anovulación, abortos espontáneos y complicaciones obstétricas, así como menores tasas de implantación y embarazo. Las mujeres con obesidad tienen 1.3 veces mayor probabilidad de presentar abortos espontáneos en comparación con mujeres con un IMC normal (Boots y Stephenson, 2011).

Del mismo modo, la obesidad puede influir en la respuesta del cuerpo a tratamientos de fertilidad. Un estudio realizado en Italia reveló que las mujeres con obesidad tenían una tasa de éxito menor en los tratamientos de fertilización *in vitro*, en comparación con mujeres con un IMC normal.

Esto se atribuye al exceso de grasa visceral, que conduce a un aumento de andrógenos por parte de los ovarios, una disminución en la tasa de ovulación y en la calidad de los óvulos, así como una menor respuesta a los tratamientos de fertilidad (Marinelli *et al.*, 2022).

Sin embargo, existe una perspectiva optimista, ya que se ha demostrado que la pérdida de peso en mujeres con obesidad puede mejorar su capacidad reproductiva, aunque aún no se ha determinado la proporción exacta de peso que debe perderse para lograr una mejora significativa. Las estrategias para la pérdida de peso abarcan cambios en los patrones de alimentación, terapia psicológica y estrategias farmacológicas y quirúrgicas. En este artículo, presentamos algunas de las opciones quirúrgicas para la pérdida de peso que podrían ser útiles para mejorar la reproducción femenina.

LA CIRUGÍA BARIÁTRICA Y LA FERTILIDAD

La cirugía bariátrica, un método cada vez más adoptado para reducir el peso en mujeres, consiste en intervenciones quirúrgicas diseñadas para disminuir el tamaño del estómago o limitar su capacidad para almacenar alimentos.

Entre los tipos de cirugía bariátrica se encuentran el *bypass* gástrico, la gastrectomía en manga

© José Kuri Breña. Azul. Serigrafía, 1981.



o manga gástrica, y la banda gástrica. Estas intervenciones resultan en una ingesta alimentaria reducida y pérdida de peso debida a una sensación de saciedad temprana. Además de contribuir a la pérdida de peso, la cirugía bariátrica puede ser beneficiosa en el manejo de enfermedades crónicas como diabetes, hipertensión y enfermedades cardíacas, lo cual mejora la calidad de vida de las mujeres con obesidad. (Casimiro *et al.*, 2019).

Estudios en los que fueron medidos los ciclos menstruales en pacientes bariátricas informaron mejoras significativas en su regularidad y duración; por ejemplo, el ciclo menstrual se volvió regular 12 meses después de la cirugía en el 85 % de las mujeres con oligomenorrea (menstruaciones poco frecuentes) o amenorrea (ausencia del período menstrual), y la tasa de menstruación irregular mejoró del 60 % al 20 % (Moxthe *et al.*, 2020).

En el año 2014, Tsur y colaboradores reportaron el primer estudio retrospectivo en el que se evaluó cuál es el impacto de la cirugía bariátrica en la fertilización *in vitro* (FIV) en mujeres con obesidad.

El estudio, que incluyó a siete pacientes, concluyó que después de la cirugía bariátrica las mujeres tuvieron una reducción significativa en el IMC y una disminución en la cantidad de gonadotropinas necesarias para la estimulación ovárica, sin afectar la calidad de los ovocitos o embriones. Los resultados sugieren que la cirugía bariátrica podría disminuir los costos de tratamiento de FIV sin comprometer su efectividad, aunque los autores indican que se necesitan estudios más amplios para confirmar estos hallazgos.

Otra patología reproductiva común entre las mujeres con obesidad es el síndrome de ovario poliquístico (SOP), que afecta aproximadamente al 10 % de las mujeres en edad reproductiva. Se caracteriza por síntomas como irregularidades menstruales, anovulación, hirsutismo y la presencia de múltiples quistes en los ovarios.

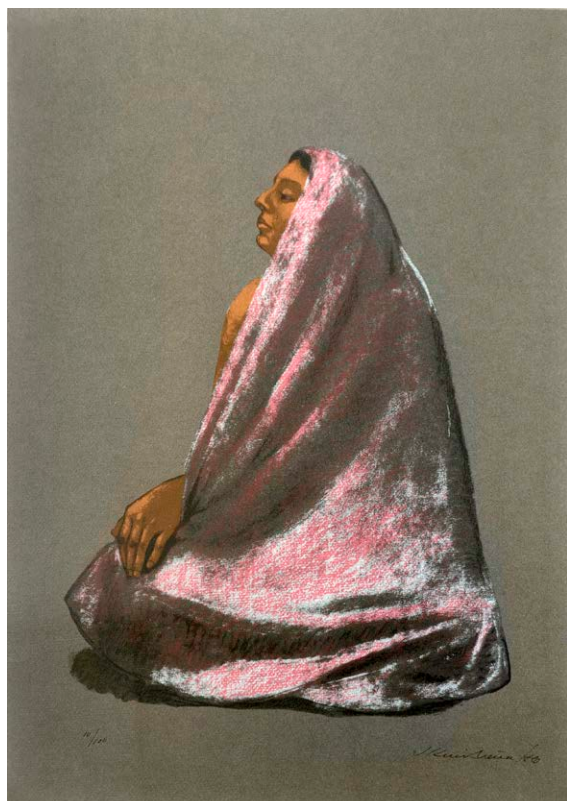
La relación entre la obesidad y el SOP es compleja, ya que, mientras la obesidad puede agravar los síntomas y complicaciones del SOP, el síndrome en sí también puede incrementar el riesgo de ganancia de peso.

Un pequeño estudio en mujeres con SOP que se sometieron a *bypass* laparoscópico mostró mejoras significativas en los parámetros reproductivos, como disminución en la concentración de andrógenos, aumento de la ovulación y normalización del ciclo menstrual, además de mejoras en parámetros metabólicos como la sensibilidad a la insulina y la presión arterial (Eid *et al.*, 2005).

Lo anterior resalta el potencial de la cirugía bariátrica para mejorar la fertilidad, la ovulación y el estado general del SOP en mujeres con obesidad. No obstante, las estrategias quirúrgicas para la obesidad tienen limitaciones, como la elegibilidad limitada según el IMC, y las comorbilidades de cada paciente, así como los riesgos de complicaciones quirúrgicas.

Es crucial comprender que la cirugía bariátrica no es una solución mágica y debe ser parte de un cambio de estilo de vida integral que incluya una dieta saludable y ejercicio regular.

© José Kuri Breña. Rosa. Serigrafía, 1980.



OTRAS ESTRATEGIAS QUIRÚRGICAS: LA VAGOTOMÍA

La vagotomía es un procedimiento quirúrgico consistente en la sección del nervio vago, también conocido como el décimo par craneal. Este nervio se extiende desde el bulbo raquídeo hasta órganos vitales como el corazón, los pulmones y el aparato digestivo. El nervio vago se distingue por su papel crucial en la regulación de funciones corporales esenciales, como la estimulación de la secreción gástrica, la motilidad intestinal, la frecuencia cardíaca y la tensión arterial. Además, posee una conexión anatómica significativa con el ovario, principalmente a través del plexo ovárico, lo que subraya su relevancia en la esfera reproductiva.

Estudios recientes han arrojado luz sobre la importancia del nervio vago en la obesidad destacando el incremento del tono parasimpático como un factor contribuyente de la misma, por lo que se ha utilizado la vagotomía como estrategia quirúrgica, lo que resulta en una reducción del tono vagal del estómago que tiene efectos limitantes sobre el vaciamiento gástrico y, por tanto, disminuye la ingesta de alimentos (Browning *et al.*, 2017).

Sin embargo, la vagotomía puede también tener efectos colaterales; por ejemplo, puede alterar las funciones metabólicas hepáticas, afectando la capacidad para procesar grasas y carbohidratos. Además, la absorción de vitaminas liposolubles y minerales puede verse comprometida debido a cambios en la motilidad gastrointestinal y en la secreción de enzimas digestivas. Estas alteraciones pueden llevar a deficiencias nutricionales a largo plazo y requerir un manejo cuidadoso de la dieta postoperatoria para asegurar un equilibrio adecuado de nutrientes.

Interesantemente, la influencia de la vagotomía va más allá de la gestión del peso y se extiende a la fertilidad, especialmente en contextos experimentales. En estudios con ratas, se ha observado que la vagotomía puede retardar la pubertad, alterar la concentración de estradiol y modificar la ovulación, lo que sugiere la participación del nervio vago en la regulación de las funciones ováricas.



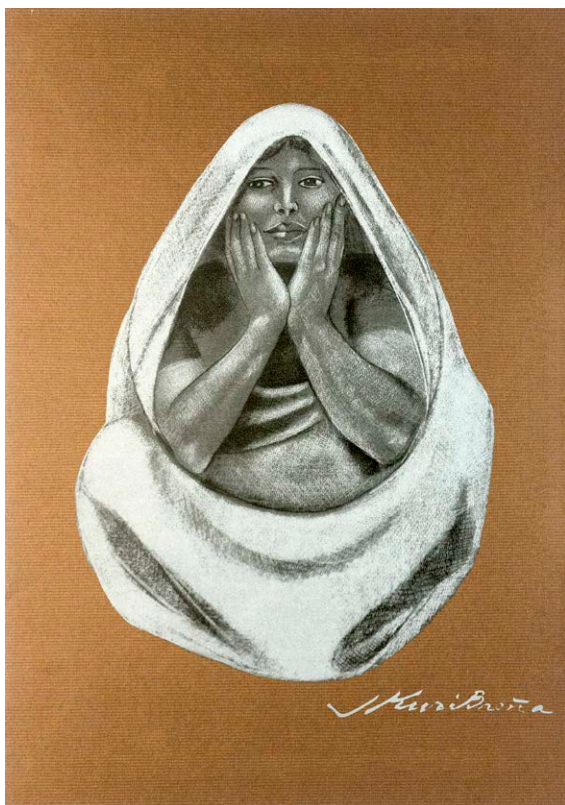
© José Kuri Breña. Gris. Serigrafía, 1981.

De manera más específica, en modelos animales con inducción del SOP, la vagotomía ha mostrado tener la capacidad de restablecer la ovulación y reducir los niveles de testosterona, lo que sugiere un posible papel terapéutico en la gestión de esta condición (Vieyra-Valdez *et al.*, 2020).

Las evidencias apuntan al hecho de que el nervio vago no solo desempeña un papel en la regulación normal de las funciones ováricas, sino que también podría intervenir en la patogénesis y el tratamiento del ovario poliquístico, abriendo así nuevos caminos para la comprensión y manejo de esta compleja condición.

COMENTARIOS FINALES

La obesidad constituye un desafío complejo que va más allá de la mera apariencia y se adentra en el ámbito de la salud reproductiva. Las estadísticas que sitúan a México entre los países con mayores índices de obesidad femenina no son solo números; representan vidas llenas de dificultades



© José Kuri Breña. Ocre. Serigrafía, 1991.

para concebir y mantener embarazos saludables. Sin embargo, es crucial reconocer que, aunque la obesidad puede oscurecer el camino hacia la maternidad, no determina el destino. La comprensión profunda de la interacción entre la obesidad y la salud reproductiva, así como el desarrollo continuo de estrategias y tratamientos efectivos, brindan esperanza a las mujeres que enfrentan estos desafíos.

La investigación, la conciencia y el acceso a opciones de tratamiento, desde cambios en el estilo de vida hasta intervenciones quirúrgicas, son pasos cruciales hacia un futuro en que la obesidad no sea un obstáculo insuperable en el camino hacia la maternidad. Con un enfoque integral y el apoyo adecuado, se pueden superar los desafíos que plantea la obesidad, permitiendo a las mujeres tomar el control de su salud reproductiva y alcanzar sus sueños de ser madres.

Es imperativo no solo enfocarse en las cifras y los tratamientos, sino también promover una comprensión más profunda de las implicaciones de la obesidad en la salud reproductiva y en la vida

de las mujeres. Solo a través de un entendimiento integral y una acción concertada podremos trazar un camino hacia un bienestar que sea inclusivo, informado y empático.

REFERENCIAS

- Boots and Stephenson (2011). Does obesity increase the risk of miscarriage in spontaneous conception: a systematic review. *Seminars in reproductive Medicine* 29(6):507-513.
- Browning K, Verheijden S and Boeckstaens G (2017). The Vagus nerve in appetite regulation, mood, and intestinal inflammation. *Gastroenterology* 152(4):730-744.
- Casimiro I, Sam S and Brady MJ (2019). Endocrine implications of bariatric surgery: a review on the intersection between incretins, bone, and sex hormones. *Physiological Reports* 7(10):e14111.
- Eid G, Cottam D, Velcu L, Mattar S, Korytkowski M, Gosman G, Hindi P and Schauer P (2005). Effective treatment of polycystic ovarian syndrome with Roux-en-Y gastric bypass. *Surgery for obesity and related diseases: official journal of the American Society for Bariatric Surgery* 1(2):77-80.
- Marinelli S, Napoletano G, Straccamore M and Basile G (2022). Female obesity and infertility: outcomes and regulatory guidance. *Acta Bio-medica* 93(4):e2022278.
- Moxthe L, Sauls R, Ruiz M, Stern M, Gonzalvo J and Gray H (2020). Effects of bariatric surgeries on male and female fertility: a systematic review. *Journal of Reproduction & Infertility* 21(2):71-86.
- OECD (2017). Obesity update. Recuperado de: <http://www.oecd.org/els/health-systems/Obesity-Update-2017.pdf>.
- Tsur A, Orvieto R, Haas J, Kedem A and Machtinger R (2014). Does bariatric surgery improve ovarian stimulation characteristics, oocyte yield, or embryo quality? *Journal of Ovarian Research* 7:116.
- Vieyra-Valdez E, Linares-Culebro R, Rosas-Gavilán G, Ramírez-Hernández D, Domínguez-Casalá R and Morales-Ledesma L (2020). Roles of the cholinergic system and vagal innervation in the regulation of GnRH secretion and ovulation: Experimental evidence. *Brain Research Bulletin* 165,129-138.
- World health organization (2000). *Obesity: Preventing and managing the global epidemic: report of a WHO consultation on obesity*. Geneva, Switzerland.

Angélica Trujillo Hernández
Instituto de Ciencias
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
angelica.trujillo@correo.buap.mx

María Concepción Puga
Bachillerato Internacional 5 de Mayo
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta
Universidad Autónoma de Tlaxcala



© José Kuri Breña. *Tocado oaxaqueño*. Dibujo al carbón, 1990.

Mujeres, locura y ciencias psi

Edith **Villavicencio Castañeda**

*A todas las que nos diagnosticaron sin conocer
absolutamente nada de nuestras vidas.*

Carta abierta al movimiento de supervivientes de la psiquiatría

Las *ciencias psi* (psiquiatría, psicología y psicoanálisis) han sido objeto de diversas críticas por parte de teóricos como el antipsiquiatra húngaro Thomas Szasz, el sociólogo canadiense Erving Goffman, el filósofo francés Michel Foucault, entre otros. Para Szasz y Goffman la enfermedad mental no es un hecho natural, sino más bien un constructo cultural conformado por prácticas administrativas y clínico-asistenciales (Díaz y Jiménez, 2023).

Por su parte, Foucault sitúa a la anormalidad como uno de los núcleos centrales de su obra (Bacarlett, 2016). Así pues, enfoca su análisis al discurso psiquiátrico en tanto regulador de la normalidad. En virtud de ello, lo normal y lo patológico representan, para el filósofo, aspectos que organizan “la dicotomía fundamental a través de la cual en el mundo moderno se construye la experiencia de la otredad, de la diferencia” (Bacarlett, 2016:15).

Desde una lectura foucaultiana, esta dicotomía constituye uno de los ejes de problematización de la subjetividad en las ciencias psi. Dicho aspecto se refleja en la terminología utilizada en las intervenciones terapéuticas con las cuales dotan de sentido las acciones humanas: razón/sinrazón, adaptado/inadaptado, sano/enfermo (Rivero, 2005), funcional/no funcional, capacidad/incapacidad, estructurado/desestructurado, etcétera.

Otra de las críticas fundamentales vertidas al conocimiento producido por las ciencias psi proviene del feminismo; este movimiento político y social ha denunciado cómo la visión sexista y androcéntrica condiciona un trato diferenciado hacia las mujeres en los servicios de salud mental. Este texto pretende contribuir sucintamente a visibilizar parte del complejo mecanismo de silenciamiento al que han sido y son sujetas las mujeres por parte de las ciencias psi, no solo por su condición de género sino, además, por ser consideradas locas.

LA PATOLOGIZACIÓN DE LO FEMENINO EN LAS CIENCIAS PSI

Alrededor de los siglos XVIII y XIX se establecieron los primeros sistemas de clasificación por parte del alienismo (profesión dedicada al estudio de las enfermedades mentales) y de la entonces incipiente psiquiatría. Con el acto de diagnosticar se intentaba cuantificar aquellas conductas consideradas

“inapropiadas” de las mujeres en el ámbito familiar y social para convertirlas en síntomas susceptibles de la intervención psiquiátrica y, con ello, de la posible “reconducción de sus comportamientos” (Díaz y Jiménez, 2023). De tal suerte que el diagnóstico sirvió desde entonces como un mecanismo de segregación basado en criterios centrados en prejuicios y estereotipos que contribuyeron al establecimiento de nuevas pautas de desigualdad social y de género, algunas de las cuales prevalecen hasta nuestros días.

Para tratar de comprender la manera en que se conformó un conjunto de conocimientos y prácticas que patologizaron lo femenino, es preciso remontarse a uno de los sitios más emblemáticos en la historia de la salud mental en México: La Castañeda, un manicomio general inaugurado en la primera década del siglo XX por el entonces presidente Porfirio Díaz.

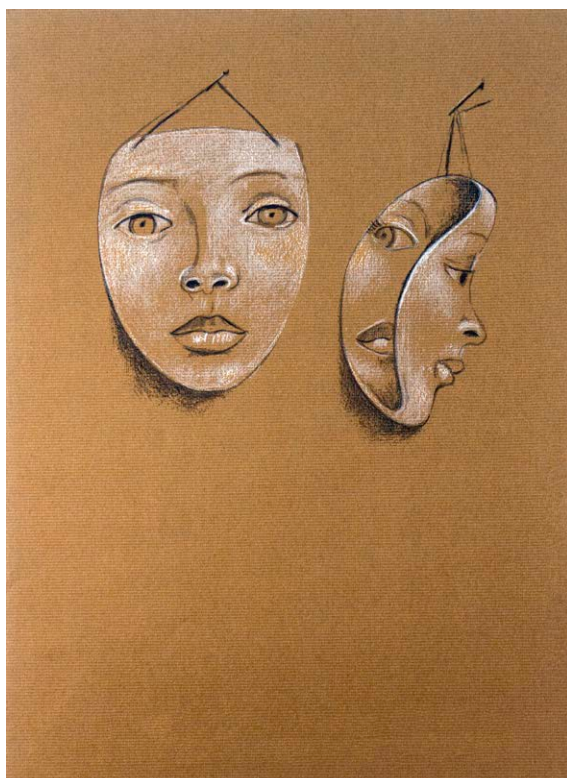
Considerado en esa época un símbolo de progreso, en ese lugar se formaron las primeras generaciones de psiquiatras; además, se llevaron a cabo investigaciones en neurología, se experimentó con tratamientos como las terapias convulsivas y los psicofármacos (Ríos, 2017) y dio inicio la historia de la práctica psiquiátrica en nuestro país (Rivera, 2010).

El manicomio tuvo como principal función recluir y aislar a quienes transgredían el orden social y atentaban contra los ideales de la modernidad (Rivera, 2010), como los alcohólicos, los drogadictos, las prostitutas, los delincuentes y las personas consideradas como enfermas mentales.

Sin embargo, en lo que respecta a las mujeres, la investigación historiográfica basada en expedientes clínicos y en cartas redactadas por las propias internas da cuenta de las experiencias dolorosas que atravesaron: invisibilización, anulación y silenciamiento de sus voces, pues bajo la mirada patriarcal de los psiquiatras eran vistas:

[...] a través de los lentes de los modelos normativos de feminidad que las representaban como ángeles domésticos y detectaban signos de enfermedad mental cuando las conductas femeninas se desviaban de la norma (Rivera, 2010:135).

© José Kuri Breña. Serie *Máscaras*. Serigrafía, 1991.



En otras palabras, entre más lejos se situaban de encarnar rasgos como la sumisión, la delicadeza, la dependencia, el recato o la docilidad propios del ideal hegemónico de la feminidad, más proclives estaban de ser consideradas locas.

Es de resaltar que los indicadores de locura estaban atravesados por criterios de tipo moral, sobre todo en lo que respecta al ámbito relacionado con la sexualidad (Mancilla, 2001).

El término “locura moral”, acuñado por Pritchard en 1835, se usó en alusión a las prostitutas, a quienes se caracterizaba como alcohólicas, codiciosas, impúdicas, ociosas, vanidosas, mentirosas, hoscas y, sobre todo, se les señalaba por ser mujeres que no deseaban ser madres (Díaz y Jiménez, 2023). Ciertamente, estas valoraciones revelaban meros prejuicios, pues poco se conocía sobre sus vidas.

En general, todo comportamiento relacionado con la sexualidad y que no fuese avalado por la sociedad se consideraba un síntoma de locura (Mancilla, 2001), situación que, desde luego, no ocurría con los varones.

Por otro lado, cabe destacar que la sexualidad de las mujeres fue problematizada únicamente desde una perspectiva biologicista. En el intento por buscar una fundamentación psiquiátrica, los órganos sexuales femeninos fueron considerados el origen de las “enfermedades nerviosas”; aspectos tales como la menstruación, la menopausia, el embarazo, el puerperio, el aborto y el amamantamiento (Mancilla 2001) estuvieron frecuentemente patologizados.

El ejemplo más claro de la patologización de lo femenino fue la histeria, palabra que proviene del griego *hystera*, que significa útero. La histeria, conocida como la enfermedad del útero, era considerada como una afectación propia de las mujeres, que se manifestaba a través de nerviosismo, irritabilidad, vómitos, convulsiones, temblores, parálisis, problemas para caminar, etcétera.

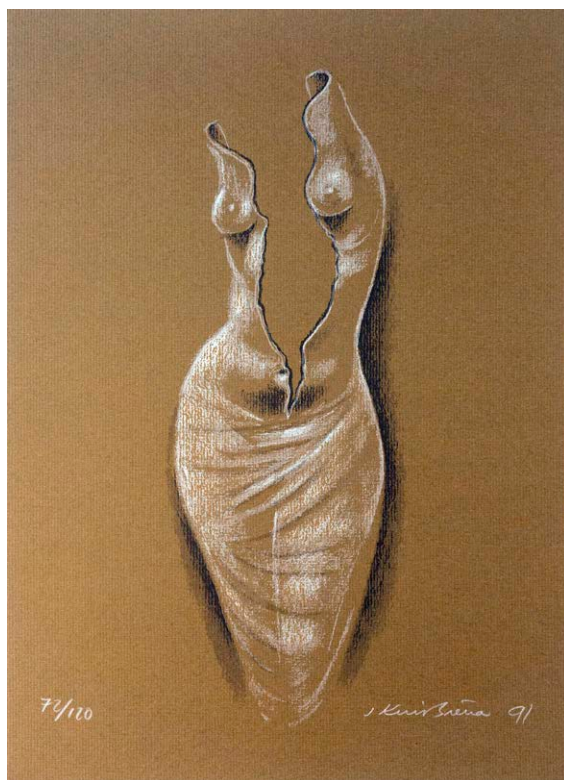
Durante la época victoriana, los médicos llevaron a cabo masajes pélvicos como método de cura, pues, según ellos, proporcionaba alivio de tensiones sexuales. Este supuesto padecimiento femenino fue desacreditado como una enfermedad mental en 1952 por la Asociación Americana de Psiquiatría

(en adelante APA). No obstante, algunos enfoques teóricos provenientes de las ciencias psi siguen considerando la histeria como una enfermedad mental.

LA COMPRENSIÓN CONTEMPORÁNEA DE LOS MALESTARES EMOCIONALES

Si en el siglo XIX se pensaba que los malestares emocionales de las mujeres tenían su origen en sus órganos sexuales, en el siglo XXI se atribuye sus causas a “desequilibrios bioquímicos en el cerebro” debido a la falta de sustancias como la serotonina, la dopamina, la oxitocina o las endorfinas. De tal forma que este enfoque biologicista se convierte, así, en la perspectiva hegemónica de la salud mental de las mujeres en la actualidad. Con frecuencia, estos supuestos “desequilibrios” son tratados exclusivamente con medicamentos psiquiátricos, sin considerar aspectos de orden estructural e ignorando el papel que juega el entramado social, político, económico y cultural en el surgimiento de los

© José Kuri Breña. *Victoria alada de Samotracia*. Serigrafía, 1991.





© José Kuri Breña. *Diálogo*. Dibujo al carbón, 1991.

malestares emocionales. Tampoco se consideran factores como las desigualdades y las violencias de género, particularmente en culturas extremadamente machistas como la mexicana.

Esta falta de perspectivas críticas en la atención a la salud mental de las mujeres se traduce en dos problemáticas: por una parte, en una mayor incidencia de diagnósticos de trastornos mentales, y por otra, en la sobremedicación de psicofármacos. De modo que, como bien señalan Díaz y Jiménez (2023), las mujeres terminan siendo doblemente subalternas: por razones de género y por ser consideradas locas.

Algunas investigadoras denuncian que estas desigualdades en el ámbito de la salud mental se pueden explicar con base en tres razones:

[...] la subordinación material y simbólica de las mujeres, el papel de las ciencias psi en la patologización de lo femenino y en los sesgos epistemológicos y androcéntricos de la biomedicina (Bacigalupe *et al.*, 2022:1).

Por este motivo, es ineludible visibilizar las formas en las cuales el conocimiento hegemónico de las ciencias psi produce y reproduce violencias.

Una de las expresiones de violencia más certeras se da cuando se favorece la desestimación e invalidación de los testimonios en primera persona. Es decir, que la consideración de los saberes de las y los psicólogas/os, psiquiatras y psicoanalistas se posiciona por encima de las experiencias encarnadas de las mujeres etiquetadas con trastornos mentales. Al no ser escuchadas, o al ser interpretadas desde marcos que prescinden de la categoría analítica de género, les es negada la posibilidad de ser vistas como sujetos de conocimiento, lo cual da la pauta a la reproducción de injusticias epistémicas dentro de la atención a la salud mental.

Por desgracia, las prácticas ejercidas sobre las mujeres etiquetadas con trastornos mentales todavía gozan de legitimidad, aun cuando se han caracterizado por supeditarse a la internación, la coerción y el confinamiento como formas de corrección social (Pinto, 2012), aspectos heredados de los modelos asilares europeos que marginalizaron a las personas a través de la institucionalización de subjetividades patologizadas.

En suma, es innegable la necesidad de suprimir aquellas prácticas de las ciencias psi que reproducen violencias contras las mujeres. Aunque, como se ha mostrado en el texto, el mayor obstáculo radica en las resistencias a realizar cambios de fondo que cuestionen la propia conformación del sistema de salud mental instaurado sobre la base de lógicas excluyentes, sexistas, y patologizantes.

Lo anterior queda de manifiesto en el modo presente de catalogar los llamados “trastornos mentales”, mediante la utilización a nivel mundial de dos guías: la Clasificación Internacional de Enfermedades-11 (CIE-11) elaborada por la Organización Mundial de la Salud, y el Manual Diagnóstico y Estadístico

de Trastornos Mentales (DSM, por sus siglas en inglés), editado por la APA.

En lo que respecta al DSM, conocido como la “biblia de la psiquiatría”, ha sido objeto de múltiples críticas. Tan es así que, luego de la publicación de la última versión, un grupo de investigadores se dio a la tarea de realizar un estudio con el objetivo de evaluar posibles vínculos financieros con los miembros del grupo de trabajo del DSM-5-TR. Entre otros resultados, encontraron que el 59.8 % de las personas involucradas en el grupo de trabajo del manual recibieron algún tipo de pago por parte de la industria farmacéutica (Davis *et al*, 2024).

La identificación de conflictos de interés confirma los sesgos, las inconsistencias y la lógica mercantil detrás de la tendencia a sobremedicalizar el malestar y psiquiatrizar el sufrimiento del cual, como se sabe, las mujeres resultan ser las más afectadas a nivel mundial.

Situaciones como esta hacen pensar lo lejos que se encuentra el sistema de salud mental de una transformación radical.

REFERENCIAS

Bacarlett M (2016). *Una historia de la anormalidad. Finitud y ciencias del hombre en la obra de Michel Foucault*. México: Universidad Autónoma del Estado de México, Gedisa Editorial.

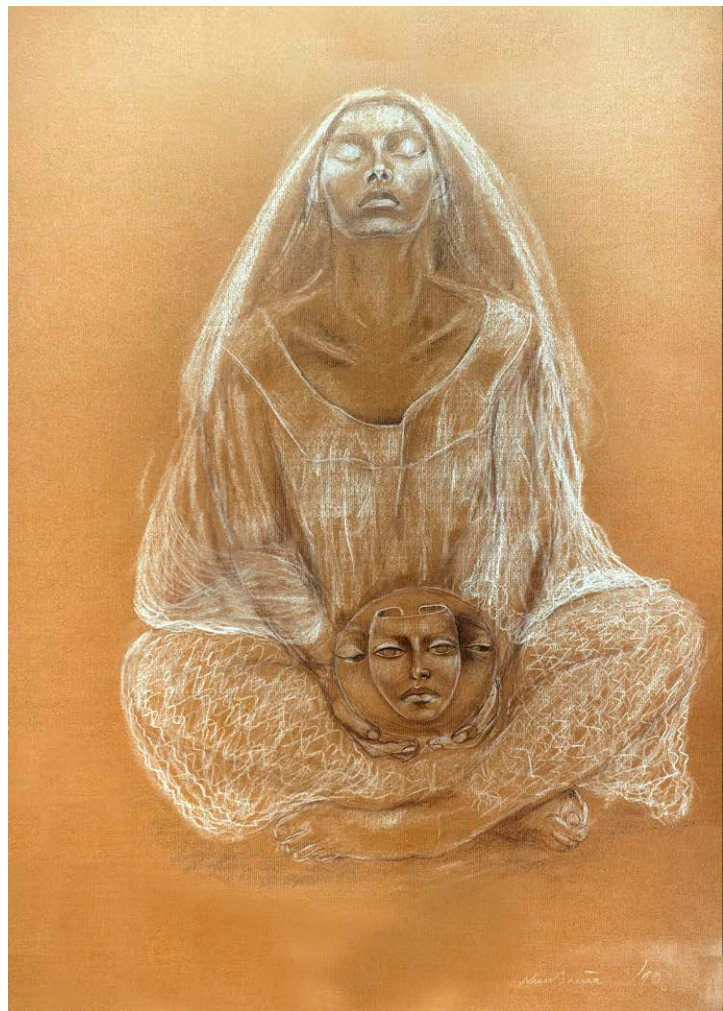
Bacigalupe A, González- Rábago Y y Jiménez-Carrillo M (2022). Desigualdad de género y medicalización de la salud mental: factores socioculturales determinantes desde el análisis de percepciones expertas. *Atención Primaria* 54:1-10. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2022.102378>.

Davis LC, Dianni AT, Drumheller SR, Elansary NN, D' Ambrozio GN, Herrawi I y Cosgrove L (2024). Undisclosed financial conflicts of interest in DSM-5-TR: cross sectional analysis. *BMJ* 384: e076902 1-7. Recuperado de: <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-076902>.

Díaz C y Jiménez I (2023). Clasificando mujeres: diagnósticos psiquiátricos y subjetividad femenina en el Manicomio Provincial de Málaga, España, 1909-1950. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos* 30: 1-20. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S0104-59702023000100003>.

Mancilla M (2001). La experiencia de la clínica mental durante el porfiriato. En Martínez J y Huitrón G (comp), *Salud y sociedad. Sus métodos cualitativos de investigación* (pp.29-52). Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Pinto B (2012). Los sistemas de salud mental: del modelo asilar a la promoción de derechos fundamentales. *Monitor estratégico* 2: 60-65. Recuperado de: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/SSA/sistemas-salud-mental.pdf>.



© José Kuri Breña. *Mirada interior*. Dibujo al carbón, 1990.

Ríos A (2017). *Los pacientes del Manicomio La Castañeda y sus diagnósticos. Una historia de la clínica psiquiátrica en México, 1910-1968*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.

Rivera C (2010). *La Castañeda. Narrativas dolientes desde el Manicomio General. México, 1910-1930*. México: Tusquets Editores.

Rivero García Isabel (2005). Ciencias “psi”, subjetividad y gobierno. Una aproximación genealógica a la producción de subjetividades “psi” en la modernidad. Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, España. Recuperado de: <https://www.tdx.cat/handle/10803/5445#page=1>.

Edith Villavicencio Castañeda
Cátedra de Investigación del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT)
Facultad de Humanidades
Universidad Autónoma del Estado de México
edivicas@gmail.com

© José Kuri Breña. *Sinfonía*. Dibujo al carbón, 1989.



Las rutas del triptófano

Jorge Antonio **Chávez Hernández**
María del Carmen **González Castillo**

El adecuado estado de salud depende en gran medida de nuestros hábitos alimenticios y de los nutrientes adquiridos de ellos, los cuales deben ser consumidos en las proporciones correctas.

Una clase de estos nutrientes son los aminoácidos, moléculas biológicas esenciales para la formación de proteínas. Sin embargo, algunos aminoácidos pueden sufrir modificaciones químicas en su estructura por acción de enzimas específicas capaces de convertir aminoácidos en moléculas biológicamente activas implicadas en la regulación de procesos fisiológicos como la neurotransmisión, el tono vascular, la secreción gástrica, entre otros (Murray *et al.*, 2012).

Los aminoácidos se clasifican en dos tipos: esenciales (que no produce el cuerpo y que, por tanto, son obtenidos a través de los alimentos) y no esenciales (que produce el cuerpo) (McMurry, 2008).

Entre los aminoácidos esenciales se encuentra el triptófano (Trp), que se obtiene principalmente de la leche, el huevo, la carne, el brócoli, el pescado y los cereales, y está implicado principalmente en la biosíntesis de compuestos biológicamente importantes como la serotonina, la melatonina, quiniurerinas y compuestos indólicos.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el consumo de este aminoácido en adultos debe ser de 3.5 mg/kg de peso corporal (Vilaplana, 2016).

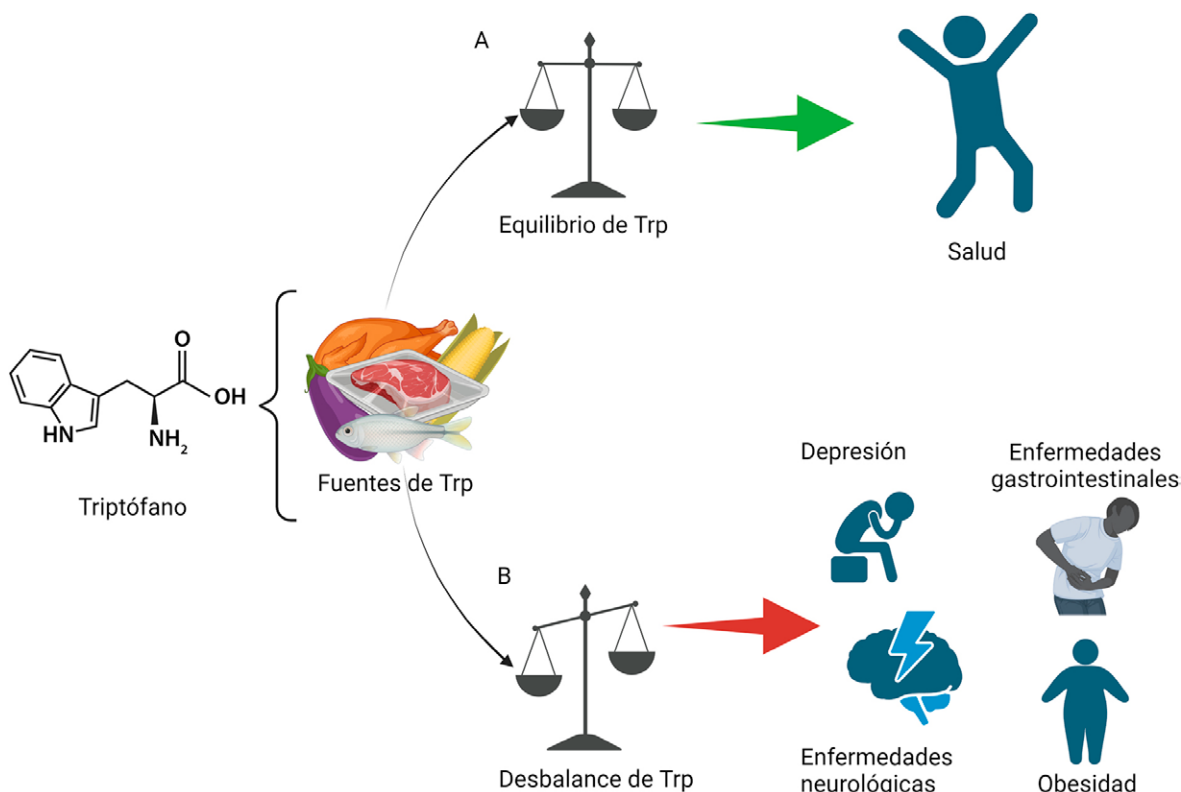


Figura 1. La ingesta adecuada de Trp (A) mantiene un estado de salud óptimo; un consumo inadecuado (B) puede originar diversos problemas a la salud.

Los cambios en el metabolismo del Trp y los padecimientos que estos pueden ocasionar (gastrointestinales, psicológicos, neurológicos, metabólicos, entre otros (Figura 1), se pueden presentar como resultado de una serie de factores, tales como una ingesta inadecuada, la exposición a agentes exógenos producidos por actividades industriales o a productos derivados de la nanotecnología que hoy en día son altamente utilizados en la fabricación de empaques y contenedores de alimentos cuyos materiales, en la escala nano, pueden ser liberados e ingeridos y provocan alteraciones sistémicas en los seres vivos (Figura 2).

Un ejemplo de ello son las nanopartículas metálicas de plata (AgNPs), que son utilizadas de forma importante en la industria alimenticia para inhibir el crecimiento bacteriano y, con ello, ampliar la vida de anaquel de los alimentos.

VÍAS METABÓLICAS POR LAS CUALES SE TRANSFORMA EL TRIPTÓFANO

Una vez ingerido, el Trp se absorbe en el intestino delgado para posteriormente unirse (hasta en un 95 %) a la albúmina periférica y ser transportada a través de la sangre.

El Trp posee una versátil gama de funciones debido a que, para efectuar su actividad biológica en distintos tejidos y órganos, puede seguir tres distintas rutas metabólicas (Figura 3).

La primera ruta es la vía de las quinureninas, que representa la principal vía del metabolismo del Trp y se lleva a cabo principalmente en el hígado, aunque también está presente en el cerebro, los pulmones y el intestino delgado.

Esta vía utiliza entre el 90 y el 95 % del Trp consumido, y su producto final es el dinucleótido de nicotinamida y adenina (NAD^+), una coenzima esencial en procesos biológicos como la respiración celular, la transferencia de electrones; la reparación del ácido

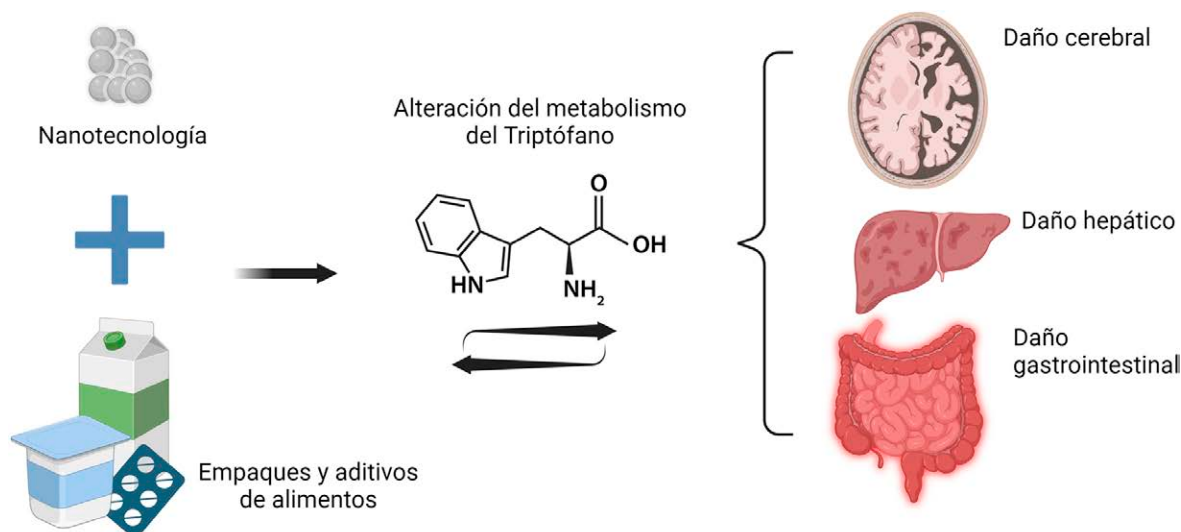


Figura 2. La incorporación de nanomateriales (materiales de tamaño menor a 100 nm en alguna de sus dimensiones) en envases y aditivos de alimentos puede modificar el metabolismo del Trp y ocasionar daños en diversos órganos.

desoxirribonucleico (ADN) y la producción de ácido nicotínico (vitamina B₃) (Badawy, 2017).

A nivel intestinal, los receptores N-metil-D-aspartato (RNMDA), localizados en las neuronas del intestino, poseen como ligando (molécula que se une específicamente a un receptor formando un complejo que favorece la comunicación celular destinada a regular procesos fisiológicos) al glutamato, permitiendo el flujo constante de iones calcio (Ca⁺²) en el interior de la célula, lo cual produce la excitación de las neuronas, modulando importantes funciones en el sistema nervioso central (SNC) como la memoria, aprendizaje, control de la ansiedad; mientras que en el sistema nervioso entérico este aumento de la actividad neuronal incide en la regulación de la función gastrointestinal, como la motilidad intestinal y la secreción de fluidos.

Se sabe que entre los metabolitos de la vía de las quinureninas el ácido quinurénico con acciones neuroprotectoras es un antagonista de estos receptores (sustancia que bloquea el efecto de los agonistas, es decir, de las sustancias que ejercen un efecto fisiológico determinado mediante la activación de receptores), y que, en consecuencia, ejerce un efecto contrario al del glutamato, lo que lo convierte en un modulador de la función motora intestinal. Por su parte, el ácido quinolínico con efectos citotóxicos, otro agonista de RNMDA, produce

una disminución en los niveles de interleucina-10 (IL-10), dando lugar a procesos inflamatorios (Badawy, 2017).

La segunda ruta corresponde a la vía de la serotonina-melatonina. Estas dos biomoléculas están relacionadas con el control de las emociones y el estado de ánimo, y con la regulación del sueño, respectivamente. Esta vía utiliza del 1 al 2 % del Trp consumido diariamente. La serotonina es un importante neurotransmisor sintetizado en el cerebro, aunque la mayoría se produce también en las células del intestino delgado, donde regula el reflejo peristáltico (Haq *et al.*, 2021), es decir, los movimientos alternados, coordinados y sincronizados de relajación-contracción del intestino, con la finalidad de desplazar el contenido intestinal a lo largo de este conducto.

La tercera vía corresponde al metabolismo microbiano o vía del indol (Figura 3), que da origen a los derivados del indol, moléculas biológicamente activas implicadas en la regulación de procesos inmunológicos, de secreción y de renovación del epitelio intestinal.

Productos como el ácido 3-indol-propiónico actúan mediante su unión a un receptor específico, promoviendo la síntesis de proteínas relacionadas

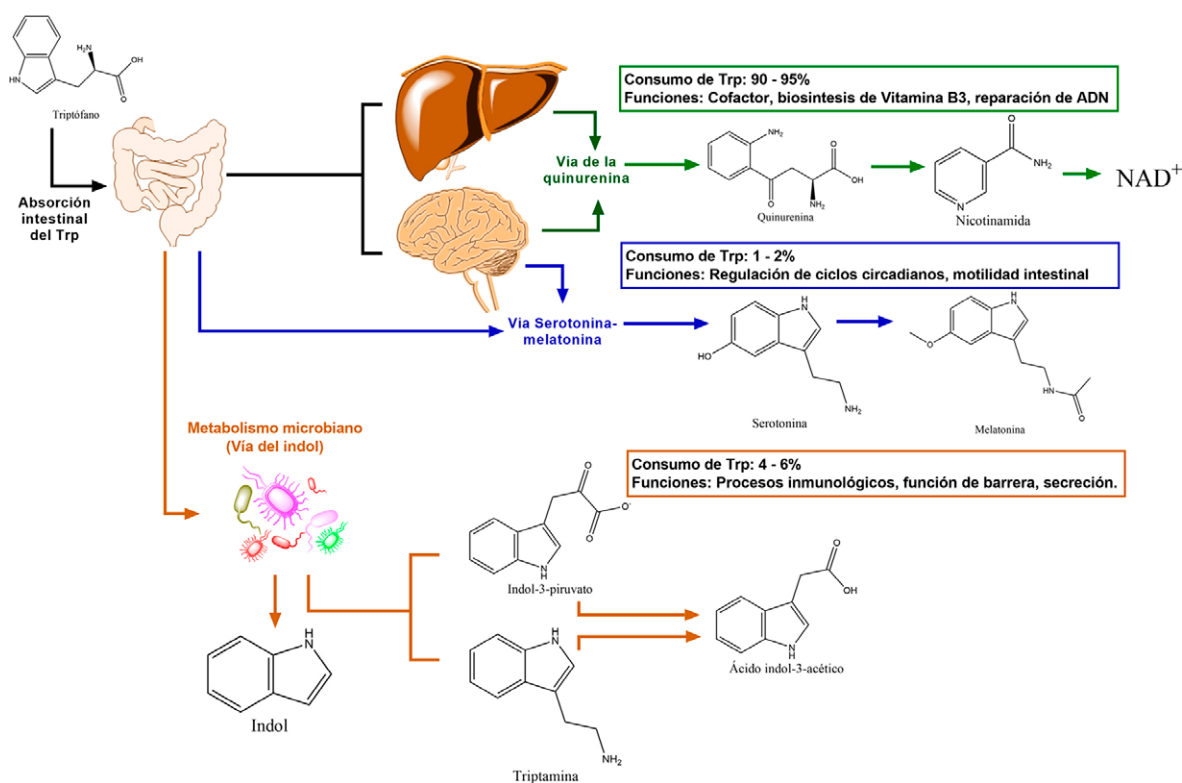


Figura 3. Vías metabólicas del Trp. A) Vía de las quinureninas. B) Vía de la serotonina-melatonina. C) Metabolismo microbiano (vía del indol).

con las uniones estrechas epiteliales, inhibiendo procesos inflamatorios a través de la regulación de la función de barrera y la permeabilidad celular del epitelio intestinal (Oladimeji y Chen, 2018).

ALTERACIONES ASOCIADAS A LAS RUTAS METABÓLICAS DEL TRIPTÓFANO

Se sabe que la serotonina, al participar en la regulación del apetito y saciedad, coadyuva con un estado de ánimo óptimo percibido como sensación de bienestar.

Sin embargo, un exceso de esta molécula se asocia a padecimientos inflamatorios intestinales que involucran la producción de una serie de moléculas inflamatorias que generan una respuesta inmune destinada a reparar el daño tisular y desaparecer o disminuir la sintomatología ocasionada por el exceso de serotonina; tales padecimientos incluyen diarrea, temblores, convulsiones, fiebre, rigidez muscular y

síndrome serotoninérgico (espasmos, sudoración excesiva, entre otros) (Haq *et al.*, 2021).

En lo que respecta a la melatonina, se trata de una hormona sintetizada a partir de la serotonina en la glándula pineal en el cerebro y en las células enterocromafines del intestino delgado, implicada en procesos inmunológicos, de conducta y maduración sexual, en el control del sueño y la vigilia, en la eliminación de radicales libres y en procesos anticancerígenos (Bubenik, 2002).

La unión de la melatonina a sus receptores específicos promueve la regulación de procesos reproductivos, metabólicos (como la obesidad) y de ciclos circadianos (Hasler, 2009).

La falta de esta ocasiona trastornos en el sueño, estado de ánimo, inflamación, concentración y memoria, entre otros. Por otro lado, los compuestos indólicos que normalmente se producen por las bacterias intestinales tienen como función mantener la integridad de la flora intestinal, por lo que su disminución puede ocasionar enfermedades hepáticas o gastrointestinales debido a la proliferación de

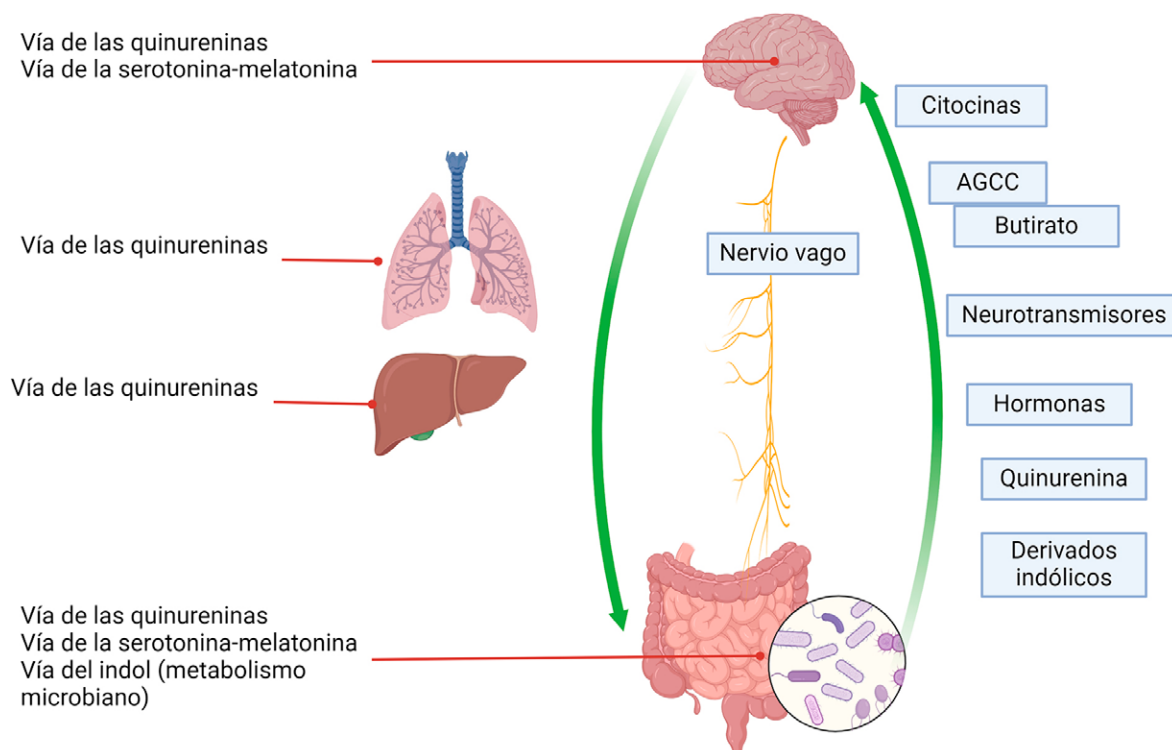


Figura 4. El metabolismo del Trp se lleva a cabo en cerebro, pulmones, hígado e intestino delgado. El cerebro y el intestino están relacionados por el eje microbiota intestinal-cerebro mediante sustancias como ácidos grasos de cadena corta (AGCC), inmunoglobulinas, citocinas, hormonas y neurotransmisores. Algunos metabolitos de Trp producidos por la microbiota intestinal pueden ejercer sus acciones en el SNC, que pueden ser favorables o desfavorables, dependiendo de sus concentraciones.

microorganismos nocivos; el resultado es que no hay compuestos indólicos suficientes para ocupar sus receptores, por lo que se inhibe la producción de la interleucina-22, cuya función es estimular la generación de péptidos antimicrobianos (Berstad *et al.*, 2014).

Se sabe que algunos padecimientos gastrointestinales, psicológicos, neuromotores e inmunológicos tienen lugar debido a la estrecha relación que guardan entre sí las tres vías metabólicas del Trp, lo que puede dar como resultado que los metabolitos producidos en una de ellas pueden afectar en otra vía alterando funciones importantes en todo el organismo. Un ejemplo de ello es el llamado eje intestino-microbiota-cerebro (Figura 4), definido como un sistema de comunicación bidireccional entre el sistema nervioso central y el sistema nervioso entérico (SNE) (Gao *et al.*, 2020).

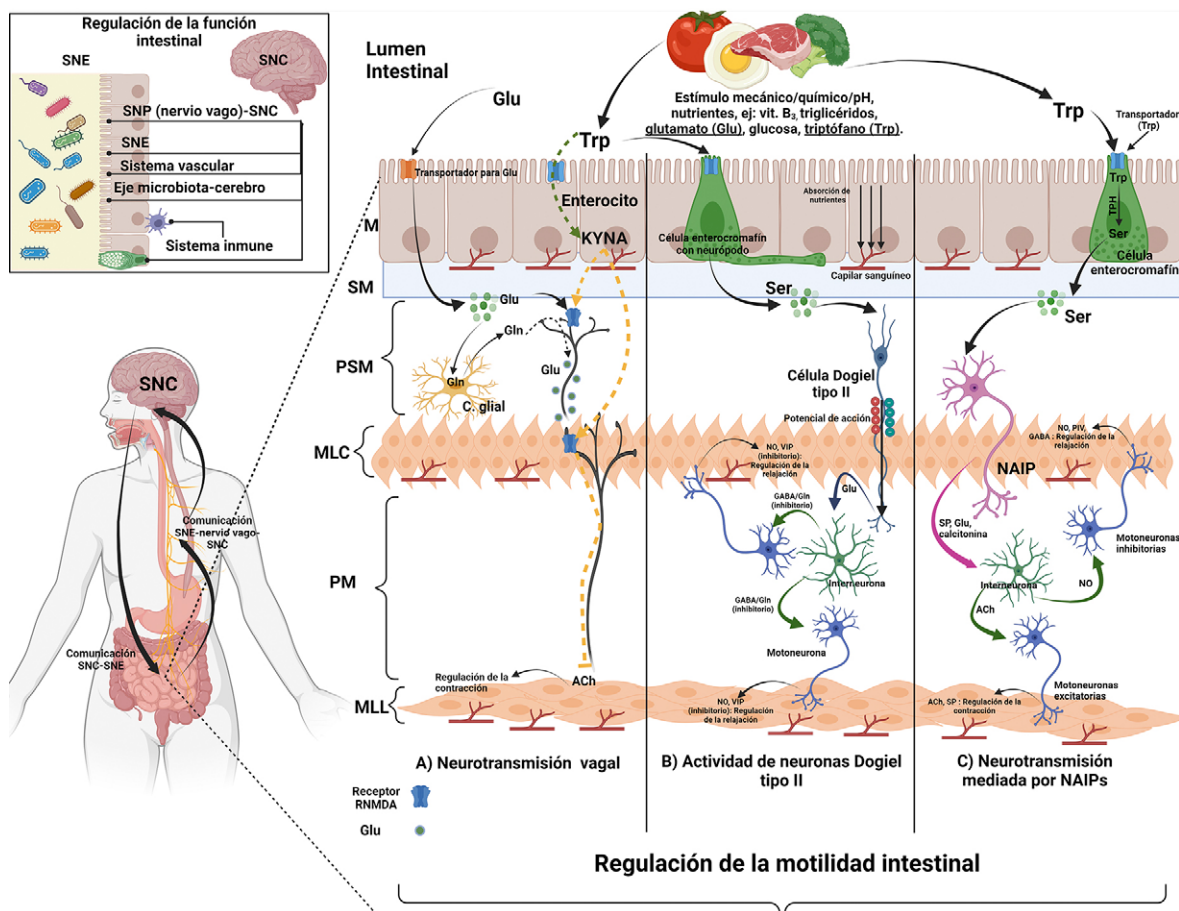
En los cuales los diversos metabolitos del Trp actúan como señalizadores químicos que mantienen un fino equilibrio entre el estado de salud y el

de enfermedad, el cual, al verse alterado, puede provocar padecimientos tales como episodios de ansiedad, asociados con un aumento en los niveles de indol y sus derivados.

EL TRIPTÓFANO COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO

Es importante resaltar que hoy en día existe en el mercado una gran gama de casas comerciales que promueven la ingesta del Trp como suplemento alimenticio en forma de cápsulas.

Sin embargo, la dosis y requerimientos diarios de la ingesta de estos suplementos deben ser vigilados y controlados para no abusar de ellos y evitar efectos colaterales como el incremento de la motilidad intestinal por exceso de Trp; a su vez, también es recomendable conocer las contraindicaciones antes de su consumo. vida de anaquel de los alimentos.



La regulación de la motilidad intestinal contribuye a una adecuada digestión de los alimentos y absorción eficiente de los nutrientes.

Figura 5. Control de la motilidad intestinal. La contracción y relajación en el intestino delgado están controladas por la neurotransmisión. A) *Neurotransmisión vagal.* Mediadores como el glutamato (Glu) se almacenan en células gliales transformándose en glicina (Gln), la cual se libera a las neuronas presinápticas que transforman la Gln en Glu, liberándolo a las fibras vagales postsinápticas, donde se unen a receptores NMDA para enviar una señal al SNC que, a su vez, remite otra señal al intestino; B) *Actividad de neuronas Dogiel tipo II.* La serotonina secretada por las células enterochromafines se une a sus receptores en las neuronas Dogiel tipo II, las cuales secretan neurotransmisores inhibitorios a las interneuronas y estas, a su vez, a las motoneuronas que controlan la motilidad intestinal. C) *Neurotransmisión mediada por NAIPs.* Las células enterochromafines liberan serotonina, que se une a receptores de las neuronas aferentes intrínsecas primarias (NAIPs) y envían señales a las interneuronas que, a su vez, comandarán a las motoneuronas. *Abreviaturas:* M (mucosa); SM (submucosa); PMS (plexo submucoso); MLC (músculo liso circular); PM (plexo mientérico); MLL (músculo liso longitudinal); Glu (glutamato); Ser (serotonina); Trp (triptófano); GABA (ácido gama aminobutírico); NO (óxido nítrico); PIV (péptido intestinal vasoactivo); SP (sustancia P); ACh (acetilcolina); NMDA (N-metil-D-aspartato); Gln (glicina); KYNA (ácido quinurénico); SNC (Sistema nervioso central); SNE (sistema nervioso entérico). (Filpa et al., 2016; Hansen, 2003; Li et al., 2020; Neal y Bornstein, 2007).

NANOTECNOLOGÍAS Y METABOLISMO

Por otro lado, actualmente se sabe que una serie de factores externos, como el impacto de la contaminación, e incluso el avance de los desarrollos tecnológicos, pueden modificar o alterar rutas metabólicas en el organismo. Los productos derivados de la nanotecnología (área de la ciencia y tecnología que incide en la manipulación y control de la materia

en una escala extremadamente pequeña), como las nanopartículas de plata (AgNPs) que poseen propiedades antimicrobianas, son utilizadas como recubrimiento de la parte interna de algunos envases de alimentos para ampliar la caducidad de los mismos; sin embargo, y como se ha demostrado, existe un riesgo latente de que las nanopartículas embebidas en estas recubiertas puedan migrar hacia los alimentos y una vez ingeridas y absorbidas, ocasionar alteraciones en el metabolismo del Trp y en consecuencia en la salud de las personas.

En este contexto, en un trabajo reciente de nuestro grupo de investigación, usando un modelo *ex vivo*, se ha evidenciado que las AgNPs producen un estado de contracción transitoria del intestino delgado de roedor, estado que se asocia con una disminución de la cantidad de triptófano y serotonina; estos resultados sugieren que las AgNPs modifican el peristaltismo intestinal así como otros marcadores bioquímicos. Estos hallazgos nos permiten sugerir que el metabolismo del Trp es blanco de este material, por lo que los mecanismos de acción en torno a estas rutas y sus acciones deben ser estudiados a profundidad por la implicación antes mencionada.

EL TRIPTÓFANO ES CLAVE EN LA REGULACIÓN DE PROCESOS VITALES

La importancia del Trp y su metabolismo radica en la variedad de procesos en los que se ve implicado, necesarios para el mantenimiento de la salud. La interrelación de sus propias rutas metabólicas, su bidireccionalidad (cerebro-intestino; microbiota-intestino) y la interacción de sus metabolitos con una serie de receptores, son algunos aspectos en los que esta molécula ejerce acciones para mantener el estado de salud en términos emocionales, de función de los ciclos sueño/vigilia, del mantenimiento adecuado de la microbiota, entre otros. Las funciones generales del Trp pueden resumirse de la siguiente manera: a) tiene un papel esencial en el mantenimiento del estado de salud; b) en el funcionamiento intestinal como la motilidad que impacta en la absorción de nutrientes (Figura 5); c) tiene un papel preponderante en procesos neurológicos, inmunológicos y metabólicos; y d) sus funciones son afectadas por factores externos, como el papel que actualmente juegan en sus vías metabólicas los derivados de la nanotecnología.

En conclusión, es importante impulsar el estudio fisiológico del Trp y sus rutas, asociado a estrategias nutricionales o terapéuticas que ayuden a mitigar los efectos nocivos de las alteraciones de su metabolismo, producidas por la ingesta deficiente, excesiva o por la concurrencia de factores externos. Todo ello coadyuvará a mantener un buen estado de salud, tanto físico como mental.

REFERENCIAS

- Badawy AAB (2017). Kynurenine Pathway of Tryptophan Metabolism: Regulatory and Functional Aspects. *International Journal of Tryptophan Research* 10(1):117864691769193. <https://doi.org/10.1177/1178646917691938>.
- Berstad A, Raa J and Valeur J (2014). Tryptophan: 'essential' for the pathogenesis of irritable bowel syndrome? *Scandinavian Journal of Gastroenterology* 49(12):1493-1498. <https://doi.org/10.3109/00365521.2014.936034>.
- Bubenik GA (2002). Gastrointestinal melatonin: localization, function, and clinical relevance. *Digestive Diseases and Sciences* 47(10):2336-2348. <https://doi.org/10.1023/A:1020107915919>.
- Chávez-Hernández JA, España-Sánchez BL, Aguirre-Bañuelos P, Granados-López L, Velarde-Salcedo AJ, Luna-Bárcenas G *et al* (2024). Physiological evaluation of PVP-coated AgNP in the rat small intestine: an *ex vivo* approach. *Front Nanotechnol* 6:1-16. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnano.2024.1386312/>.
- Filpa V, Moro E, Protasoni M, Crema F, Frigo G and Giaroni C (2016). Role of glutamatergic neurotransmission in the enteric nervous system and brain-gut axis in health and disease. *Neuropharmacology* 111:14-33. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2016.08.024>.
- Gao K, Mu CL, Farzi A and Zhu WY (2020). Tryptophan Metabolism: A Link Between the Gut Microbiota and Brain. *Advances in Nutrition* 11(3):709-723. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz127>.
- Hansen MB (2003). The Enteric Nervous System II: Gastrointestinal Functions. *Pharmacology & Toxicology* 92(6):249-257. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0773.2003.920601.x>.
- Haq S, Grondin JA and Khan WI (2021). Tryptophan-derived serotonin-kynurenine balance in immune activation and intestinal inflammation. *The FASEB Journal*, 35(10):1-22. <https://doi.org/10.1096/fj.202100702R>.
- Hasler, W. L. (2009). Serotonin and the GI tract. *Current Gastroenterology Reports*, 11(5):383-391. <https://doi.org/10.1007/s11894-009-0058-7>.
- Li P, Zheng J, Bai Y, Wang D, Cui Z, Li Y, Zhang J and Wang Y (2020). Characterization of kynurenine pathway in patients with diarrhea-predominant irritable bowel syndrome. *European Journal of Histochemistry* 64:14-21. <https://doi.org/10.4081/ejh.2020.3132>.
- McMurry J. (2008). *Química orgánica* 7 (7ª. ed.). Cengage Learning.
- Murray RK, Kennelly PJ, Bender DA, Rodwell VW, Botham KM and Weil PA (2012). *Harper: Bioquímica Ilustrada* (29ª. ed.). McGraw-Hill.
- Neal KB and Bornstein JC (2007). Mapping 5-HT inputs to enteric neurons of the guinea-pig small intestine. *Neuroscience* 145(2):556-567. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2006.12.017>.
- Oladimeji PO and Chen T (2018). PXR: More Than Just a Master Xenobiotic Receptor. *Molecular Pharmacology* 93(2):119-127. <https://doi.org/10.1124/mol.117.110155>.
- Vilaplana M (2016). Alimentación y neuronas. En *Farmacia Profesional* (Vol. 30, Issue 6, pp. 17-20).

Jorge Antonio Chávez Hernández
María del Carmen González Castillo
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
gonzalez.castillocarmen@uaslp.mx

© José Kuri Breña. *Hamaca*. Dibujo al carbón, 1990.



Oxidación, la consecuencia inevitable de la respiración

Luz María **Nicio-Antonio**
Juan Francisco **Rodríguez-Landa**

El pasado fin de semana fui por un helado al parque. Me senté en una banca metálica, sentí el aire sobre mi cara y la frescura de los árboles a mi alrededor. Por un momento cerré los ojos y me detuve a sentir ese elemento vital, el oxígeno, entrar lentamente por mi nariz y llenar mis pulmones. Ya no puedo sentirlo, pero sé que de mis pulmones el oxígeno llega a cada célula de mi cuerpo, para participar en reacciones químicas que me permiten vivir. Abrí los ojos y vi el óxido de la banca en donde estaba sentada, ese producto de la unión del oxígeno con el fierro y pensé: este oxígeno que me da vida es el mismo que carcome poco a poco esta banca oxidada y la va haciendo cada día más vieja. Y entonces me pregunté: ¿qué pasa con el oxígeno de mi cuerpo?, ¿acaso cada vez que respiro me oxido y envejezco como esta banca? Esto es estresante y angustiante pero, por ahora, dejemos el estrés para más tarde.

RADICALES LIBRES, LOS OXIDANTES DEL CUERPO

El oxígeno que respiramos tiene la capacidad de llegar a todas nuestras células y, con la glucosa obtenida de los alimentos, genera la energía necesaria para llevar a cabo distintos procesos metabólicos e incluso para realizar actividades como redactar este artículo o leerlo que, por ahora, es lo que haces. Pero en este ir y venir de la vida no todo

puede ser perfecto, en esos procesos metabólicos se producen radicales libres, moléculas inestables que pueden interactuar con otras moléculas y adaptarse a su entorno. Capaces de actuar en nuestro cuerpo y producir cambios, podríamos decir que son moléculas incompatibles con la vida, y el oxígeno es la molécula que promueve su oxidación; pero no todo es malo, estos radicales se forman de manera natural en todos los seres vivos (Alkadi, 2020). A lo largo de nuestra vida, las células producen en su interior, de manera normal, radicales libres que son indispensables para sobrevivir. Puede ser angustiante pensar que los tacos al pastor que me comí hicieron que mis células generaran moléculas que buscan una estabilidad. Entonces, la fuente de radicales libres puede venir del interior, pero también del exterior, como de algunos alimentos o (como mejor ejemplo) del humo de tabaco. Cada vez que el humo es inhalado es como una bocanada para la producción de radicales libres. Aunque el tabaco es una mezcla compleja de compuestos químicos, hay moléculas que pueden provocar estrés patológico en las células y en algunos tejidos; parte de estas alteraciones está dada por un estado conocido como estrés oxidativo, caracterizado por un exceso de radicales libres en las células; además de otras especies reactivas de oxígeno originadas por el humo del tabaco (Caliri *et al.*, 2021).

ESPECIES REACTIVAS DE OXÍGENO (ROS)

En la clase de química orgánica recuerdo haber estudiado el tema de los grupos funcionales; había un pizarrón lleno de reacciones químicas y a un lado la palabra “alcoholes”. El radical hidroxilo, mejor conocido como OH, es un radical que puede interactuar con nuestro ADN y alterar la información de las células; es capaz de transformar cientos de moléculas que intervienen en el funcionamiento del organismo, pero algunas de ellas se convierten en oxidantes y otras en auténticos venenos para las membranas celulares (Paredes y Roca, 2002). A veces pienso que mi mejor amigo es un radical hidroxilo, pues me puede ayudar a interactuar con diferentes personas,

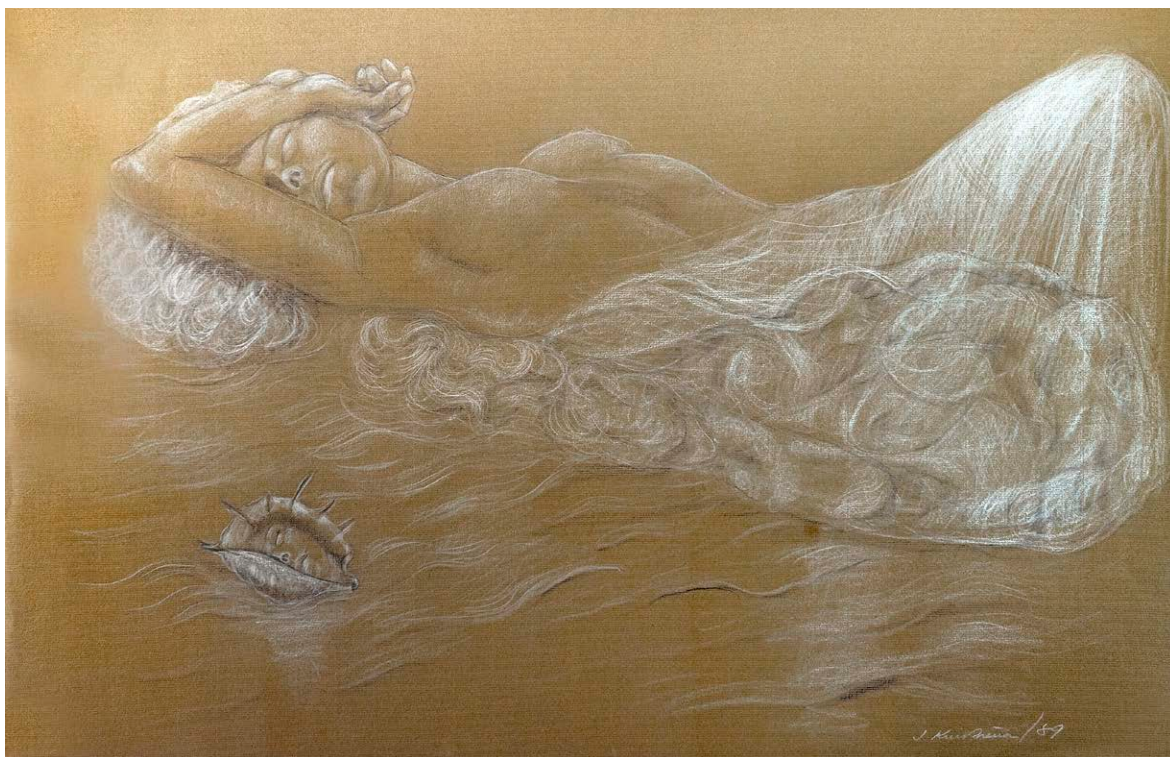
producirme sensaciones intensas y emociones auténticas. Pero yo soy una persona menos reactiva, más parecida al radical peroxilo o a las moléculas de peróxido de hidrógeno, que se encuentran también en el humo de tabaco, pero que se comportan como oxidantes similares a los radicales libres, aunque me parece más correcto referirnos a ellos como especies reactivas de oxígeno (ROS). Su producción se da a nivel celular, en el citoplasma de diversas células en donde habitan las mitocondrias, que son las encargadas de la mayor producción de ROS.

MIS CÉLULAS EMPIEZAN A ESTRESARSE

Espero que hayan notado lo difícil que puede ser recordar una clase de química, pero es algo que vive con nosotros y nos acompaña todo el tiempo, como los radicales libres de nuestras células que se liberan durante el metabolismo. Cuando esto sucede, nuestro cuerpo es capaz de fabricar moléculas benéficas, tales como los antioxidantes endógenos; esto permite un equilibrio para que la oxidación sea menor y se reduzca el daño celular. Cuando este equilibrio se desestabiliza, hay un incremento descontrolado de radicales libres, lo que ocasiona el estrés oxidativo. Entonces, no solo nosotros nos estresamos, nuestras células también se estresan. El estrés oxidativo puede predisponer al desarrollo de diversas enfermedades, por ejemplo, cardiovasculares y neurológicas como la enfermedad de Alzheimer; también puede promover el envejecimiento (Teleanu *et al.*, 2022). En 1956, Denham Harman, un científico de la Universidad de Nebraska, formuló esta asociación entre los radicales libres y el proceso de envejecimiento. Él propuso que, durante el envejecimiento, la protección antioxidante disminuye provocando estrés oxidativo y dando como resultado el desarrollo de enfermedades propias de la edad, como podría ser la pérdida de la memoria y la concentración.

¿LOS RADICALES LIBRES SON BUENOS O MALOS?

Incluso cuando las células usan el oxígeno para generar energía se crean radicales libres y, como



© José Kuri Breña. *Olas del mar*. Dibujo al carbón, 1989.



© José Kuri Breña. *Diálogo*. Dibujo al carbón, 1991.

subproductos, se forman compuestos que contribuyen a la oxidación. Todo esto juega un doble papel importante para el funcionamiento del organismo. Pero entonces, ¿las ROS son tóxicas o beneficiosas? Esta pequeña línea de equilibrio entre los efectos que pueden producir es un aspecto importante en la vida. En concentraciones adecuadas son necesarias para el proceso de maduración de estructuras celulares; además, actúan en el sistema inmunitario y son armas que este sistema utiliza como defensa frente a microorganismos desconocidos ajenos al cuerpo. Las células encargadas de eliminar estos microorganismos liberan radicales libres como parte del proceso de defensa contra las posibles enfermedades. Es decir, en niveles moderados tienen una razón de ser vitales para la salud humana. Aun así, nuestro cuerpo tiene mecanismos que pueden ayudar a regular o reparar los efectos de la generación de radicales libres, produciendo moléculas que los neutralizan; las llamadas moléculas antioxidantes (Pisoschi y Pop, 2015).

DEFENSA PROPIA

A estas alturas comenzamos a preguntarnos si nuestras células están indefensas. La verdad es que no. Nuestro cuerpo sabe cómo contrarrestar el estrés oxidativo. Para ello produce antioxidantes endógenos de manera natural a través del metabolismo. En este proceso intervienen proteínas como el glutatión peroxidasa, la catalasa, melatonina y el superóxido dismutasa, que están encargadas de eliminar sustancias oxidantes (Jomova *et al*, 2023). Además, existen antioxidantes exógenos que el cuerpo no produce de forma natural, pero que podemos adquirir a través de los alimentos. Son los antioxidantes exógenos, como las vitaminas C y E, los betacarotenos (responsables de los colores amarillo, naranja o rojo en frutas y verduras) y los flavonoides (moléculas producidas por las plantas). Entonces, podemos decir que vivimos rodeados de alimentos que funcionan como estabilizadores de los procesos oxidativos.

EL PROCESO ANTIOXIDANTE

Los antioxidantes se encargan de destruir a los radicales libres. Entre esas sustancias se incluyen al superóxido dismutasa. No obstante, durante ese proceso, el antioxidante se oxida rápidamente, por lo que debe generarse de manera constante en nuestro cuerpo.

Podemos decir ahora que esa situación que imaginamos inicialmente estresante (respirar) puede ser la más afortunada. Con la presencia de las enzimas encargadas de atacar a los radicales libres, generados por el simple hecho de respirar, se crea un equilibrio entre los radicales libres producidos por nuestras células y los antioxidantes que actúan en nuestra defensa.

ALIMENTOS QUE CONTRARRESTAN LA OXIDACIÓN

Entre las moléculas que aportan los alimentos se encuentran algunos antioxidantes como las vitaminas. Su poderoso poder antioxidante, de acuerdo con algunos estudios, es capaz de proteger a las membranas celulares del daño de los radicales libres, principalmente del daño derivado de la peroxidación lipídica, es decir, de la oxidación de las grasas (Miyazawa *et al*, 2019). Debido a lo anterior, se ha propuesto que la vitamina E puede prevenir el desarrollo de enfermedades como el cáncer de colon, próstata y mama, enfermedades cardiovasculares y ciertos trastornos neurológicos y neuropsiquiátricos (Zainal *et al*, 2022). Las fuentes naturales de vitamina E son los cereales integrales, algunos frutos secos, los huevos, la carne y los aceites vegetales. El uso de suplementos de vitaminas a largo plazo debe abordarse con cautela, ya que las dosis altas pueden generar el efecto contrario y contribuir al deterioro de la función celular.

En algunas frutas y verduras hay componentes que la misma planta produce para su beneficio, pero además de esto, se ha descubierto que pueden ser beneficiosas para nosotros, tal es el caso de los flavonoides. Estas sustancias que dan la coloración a flores y frutos fueron descubiertas por Albert Szent-Gyorgy en 1930, y tienen propiedades

antioxidantes similares a las de la vitamina C. De acuerdo con sus estructuras químicas se han identificado y clasificado en diversos grupos. Cada planta tiene una combinación única de esas moléculas y sus efectos son diferentes en el cuerpo (Hritcu *et al*, 2017). Por ejemplo, el vino tinto es una fuente rica de flavonoides. Por otra parte, sin darnos cuenta, podemos estar consumiendo flavonoides aún más de lo que imaginamos, al comer vegetales como el brócoli, la cebolla, la cúrcuma o el té verde. Los científicos tienen la mirada puesta en estos compuestos de las plantas por sus propiedades anticancerígenas, antibacterianas, antiinflamatorias, antioxidantes y neuroprotectoras (Rodríguez-Landa *et al.*, 2022). La gran controversia pudiera surgir de los suplementos industrializados que dicen tener grandes cantidades de antioxidantes. Aunque hay estudios que sustentan los beneficios del consumo de antioxidantes en enfermedades asociadas con el estrés oxidativo y en muchas enfermedades crónicas-degenerativas, aún falta evaluar algunos aspectos en estudios controlados, así como sus efectos a largo plazo, para establecer las dosis adecuadas en cada tipo de enfermedad.

Nosotros somos más complicados que una banca de hierro, aunque en lo que se refiere a los procesos de oxidación no somos tan diferentes. Para evitar que una banca se oxide ponemos una capa protectora de pintura; nosotros tenemos antioxidantes endógenos y exógenos, que al igual que la pintura de la banca ayudan a no oxidarnos en exceso, puesto que la oxidación forma parte de nuestro proceso de vida.

Falta mucho por descubrir, cada día hay más equipos de científicos interesados en los efectos benéficos que podemos encontrar en las moléculas contenidas en algunos alimentos, tal es el caso de los flavonoides. Conocer su impacto a nivel nutricional, además sus efectos positivos y negativos a nivel celular, así como sus posibles usos terapéuticos, es un desafío para el desarrollo de estrategias que permitan una mejor calidad de vida de las personas. Tener una dieta sana puede ayudar a nuestro sistema antioxidante para mantener nuestras funciones vitales y un estado de salud óptimo. Sin embargo, debemos considerar que es necesario mantener

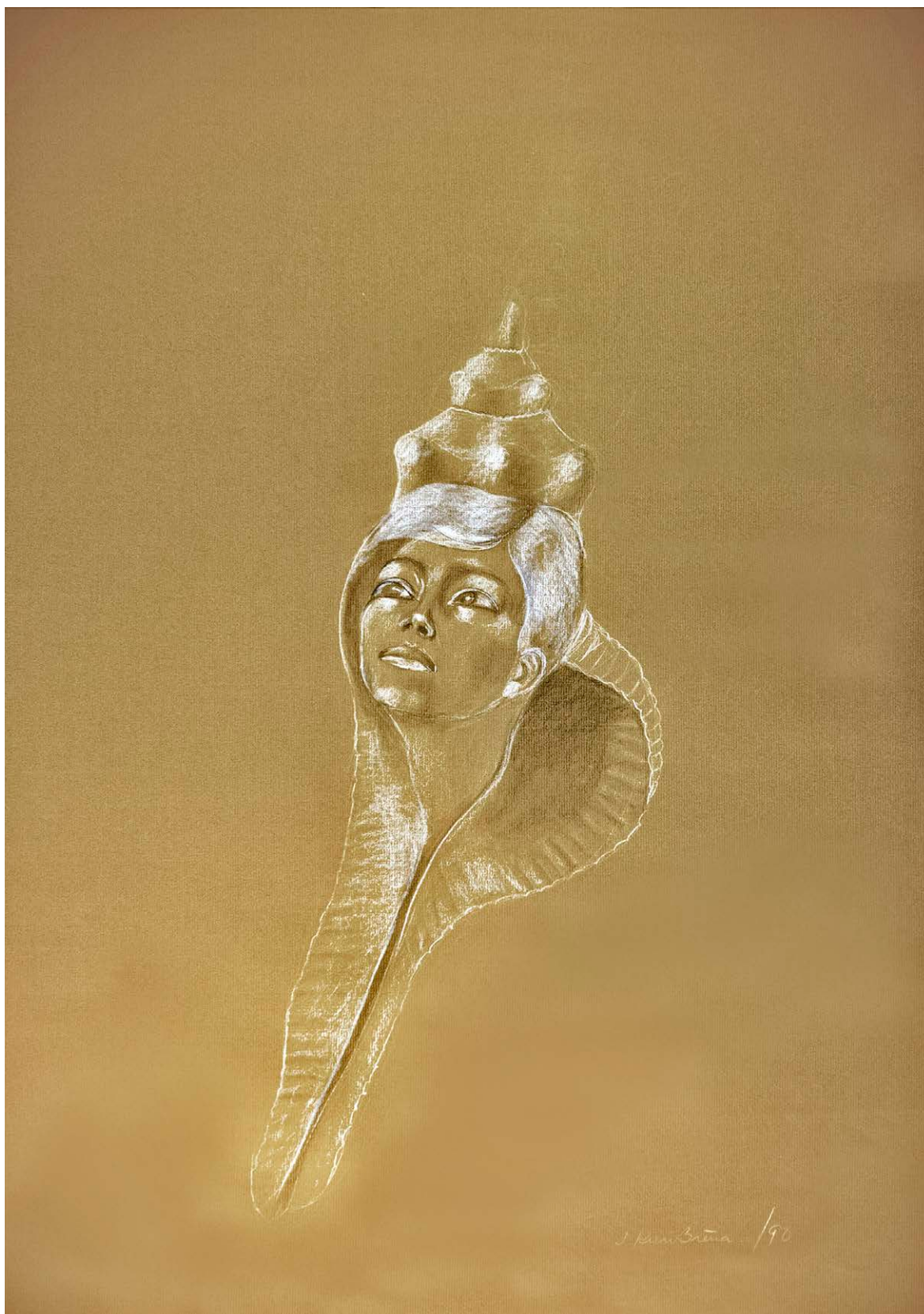
un equilibrio y evitar el consumo excesivo de sustancias antioxidantes. Ahora entendemos por qué, tanto la banca como nosotros, envejecemos y nos deterioramos al ritmo de la respiración...

REFERENCIAS

- Alkadi H (2020). A Review on Free Radicals and Antioxidants. *Infectious Disorders Drug Targets* 20:16-26.
- Caliri AW, Tommasi S and Besaratinia A (2021). Relationships Among Smoking, Oxidative Stress, Inflammation, Macromolecular Damage, and Cancer. *Reviews in Mutation Research* 787:108365.
- Hritcu L, Lonita R, Postu PA, Gupta GK, Turkez H, Lima TC, Carvalho CUS and de Sousa DP (2017). Antidepressant Flavonoids and Their Relationship with Oxidative Stress. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 2017:5762172.
- Jomova K, Raptova R, Alomar SY, Alwasel SH, Nepovimova E, Kuca K and Valko M (2023). Reactive Oxygen Species, Toxicity, Oxidative Stress, and Antioxidants: Chronic Diseases and Aging. *Archives of Toxicology* 97:2499-2574.
- Miyazawa T, Burdeos GC, Itaya M, Nakagawa K and Miyazawa T (2019). Vitamin E: Regulatory Redox Interactions. *International Union of Biochemistry and Molecular Biology life* 71:430-441.
- Paredes Salido F y Roca Fernández JJ (2002). Influencia de los Radicales Libres en el Envejecimiento Celular. *Offarm* 21:96-100.
- Pisoschi AM and Pop A (2015). The Role of Antioxidants in the Chemistry of Oxidative Stress: A Review. *European Journal of Medicinal Chemistry* 97:55-74.
- Rodríguez-Landa JF, German-Ponciano LJ, Puga-Olgún A, Olmos-Vázquez OJ (2022). Pharmacological, Neurochemical, and Behavioral Mechanisms Underlying the Anxiolytic- and Antidepressant-like Effects of Flavonoid Chrysin. *Molecules* 27:3551.
- Teleanu DM, Niculescu AG, Lungu II, Radu CI, Vladăncu O, Roza E, Costăchescu B, Grumezescu AM and Teleanu RI (2022). An Overview of Oxidative Stress, Neuroinflammation, and Neurodegenerative Diseases. *International Journal of Molecular Sciences* 23: 5938.
- Zainal Z, Khaza'ai H, Kutty Radhakrishnan A and Chang SK (2022). Therapeutic Potential of Palm Oil Vitamin E-derived Tocotrienols in Inflammation and Chronic Diseases: Evidence from Preclinical and Clinical Studies. *Food Research International* 156:111175.

Luz María Nicio-Antonio
Becaria del CONAHCYT, Instituto de Neuroetología
Universidad Veracruzana, Xalapa
maria.nicio@outlook.com

Juan Francisco Rodríguez-Landa
Instituto de Neuroetología
Universidad Veracruzana, Xalapa



© José Kuri Breña. *Caracol marino*. Dibujo al carbón, 1990.

Educación ambiental para la vida digna

Adriana Flores Guevara
María Esther Méndez Cadena

El deterioro ambiental causado por el acelerado ritmo de vida que el ser humano ha adoptado como parte del modelo económico hegemónico está provocando una crisis ambiental con graves consecuencias, como desastres climáticos, destrucción de hábitats y sobreexplotación de la naturaleza. Esta situación pone en peligro la vida en la Tierra, incluida la del propio ser humano. Ante esta realidad, algunas personas han optado por emprender acciones para abordar el problema, y una de esas acciones es la educación ambiental. Sin embargo, la educación ambiental (EA) ha surgido en el seno del mismo modelo que está siendo combatido, lo que genera un conflicto de intereses y plantea desafíos significativos para la implementación de soluciones efectivas.

¿CÓMO LLEGAMOS A ESTE PROBLEMA?

Durante casi 300,000 años la humanidad ha prosperado en la Tierra, pero en los últimos 180 años ha alterado significativamente su entorno natural (Casas y Arellano, 2022), desencadenando una crisis autoinfligida. En la década de 1970 surgieron los primeros indicios de preocupación por la pérdida y el deterioro de la naturaleza, respaldados por investigaciones que mostraban un continuo deterioro ambiental. El avance tecnológico y la economía global han

llevado a un uso insostenible de la naturaleza, a su explotación y contaminación, exacerbados por el modelo capitalista que prioriza la acumulación de riqueza sobre la ética y la sostenibilidad.

La Tierra está experimentando un aumento significativo de temperatura, con un incremento de 1.1 °C desde finales del siglo XIX, hasta la última década (2011-2020), la más cálida registrada (Naciones Unidas, 2021). Este aumento conlleva consecuencias devastadoras como inundaciones, sequías prolongadas, incendios más grandes y frecuentes, derretimiento de los hielos polares, huracanes más poderosos y pérdida de la biodiversidad. A pesar de la creciente conciencia sobre los desastres ambientales y la urgencia de actuar, la respuesta sigue siendo insuficiente, ya que la negación y el desconocimiento del vínculo entre el crecimiento económico y el cambio climático persisten (González-Gaudiano y Gutiérrez, 2020).

La problemática ambiental surge del modelo económico actual, que promueve un concepto de “progreso” y desarrollo ilimitados, sin establecer límites claros. Esta visión ampliamente difundida por instituciones públicas y privadas, así como por los medios de comunicación y la educación en todos los niveles, ha sido presentada como un camino positivo para la humanidad, tanto que cuestionarla podría parecer absurdo. A lo largo del siglo pasado, esta visión tuvo una hegemonía total y promovió concepciones productivistas y científicas provenientes de una corriente positivista que buscaba un progreso ilimitado en una competencia global. Abordar esta problemática va más allá de simplemente reducir las emisiones de carbono; requiere un cambio radical en el estilo de vida y una profunda reflexión sobre nuestras acciones y sus consecuencias, donde la educación ambiental desempeña un papel fundamental.

EDUCACIÓN AMBIENTAL CONDICIONADA

La educación ambiental ha tenido sus inicios en la conferencia de Estocolmo, en 1972, y en la creación

del Programa Internacional de Educación Ambiental por parte de la UNESCO, en 1975. A pesar de los esfuerzos realizados y las diversas reuniones y cumbres internacionales para discutir el tema, la EA no ha logrado incidir profundamente en la conciencia humana ni en la adopción de comportamientos más sostenibles.

Ante la crisis planetaria, se han implementado acciones de EA para reorientar el curso hacia un futuro más sostenible, pero han carecido de una reflexión profunda sobre la conexión humana con la naturaleza. La EA actual no ha sido suficiente para detener el deterioro ambiental, lo que ha llevado a reformas urgentes. La imposibilidad de conciliar el ambientalismo con el capitalismo subraya la necesidad de un cambio de paradigma hacia un enfoque más equilibrado y ético. Sin embargo, este enfoque se fragmenta e invisibiliza en la EA actual, que está condicionada por el sistema del que se desprende.

En las políticas educativas a todos los niveles ha prevalecido una mirada neoliberal que lejos de generar la construcción de aprendizajes significativos, transmite conocimientos poco útiles y de pronta caducidad. Salinas-Atausinchi y Huaman-Lucana (2021) plantearon que en esas políticas se considera a los docentes solo como asalariados y a los estudiantes como consumidores, limitando así la crítica y perpetuando un modelo que prioriza objetivos económicos y preserva las ideas colonizadoras de la cultura y el pensamiento.

La educación ha terminado por doblegarse a las políticas neoliberales, las cuales son insostenibles en el espacio de la naturaleza y en el tiempo; pero la educación no debe verse como un medio para manipular y satisfacer demandas industriales o economicistas, tal como Eschenhagen *et al.* (2023:83) mencionan:

Educación es ir contra la barbarie... es sinónimo de enseñar a pensar en autonomía, a abrirse a lo diverso y comunicarse con las otredades; eliminar cualquier forma de ideas supremacistas en el pensamiento personal, así como colectivo; comprender la complejidad ambiental y las condiciones de la vida.

Tanto la educación en general como la EA, no han logrado salir de los paradigmas mecanicistas que ven al mundo como un objeto del cual el hombre es el dueño, y mientras no se comprenda que la degradación no se detendrá solo con impuestos verdes, bonos de carbono y energías alternativas, se mantendrá una sustentabilidad ligera o blanda, pues no considera aspectos profundos y transversales como pobreza y marginación social, modelo económico hegemónico, antropocentrismo, ecocentrismo, pueblos originarios, conocimiento tradicional, diversidad cultural, alienación, sentido y conciencia planetaria, entre otros. Si bien la EA ha logrado avances importantes, como la inserción del estudio de problemas ambientales en las asignaturas de los programas de estudio, así como la formación de docentes en aspectos ambientales, la producción de materiales didácticos, libros, artículos, tesis y la presentación de ponencias en eventos académicos, aún persiste el reto de superar la educación positivista para promover una educación crítica y humanista que aborde la complejidad de la dinámica de la vida planetaria, para afrontarla digna e interculturalmente, de manera justa, solidaria, responsable, colaborativa y respetuosa, en el marco de su diversidad biológica y sociocultural (Terrón, 2019).

El enfoque predominante en la EA se ha relegado a ser parte de una asignatura en un programa de estudio principalmente en las ciencias naturales, pero deja de lado la integralidad, la complejidad y la espiritualidad, entendida esta como la condición que aporta elementos que orientan el sentido de vida y la trascendencia en ella. Por otra parte, la EA se alterna con una educación que se esfuerza en la mejora de la vida a través de estrategias que no visualizan con detenimiento los procesos, y sigue viendo el crecimiento, el progreso y el desarrollo como la solución a todos los problemas, incluso los ambientales.

PARADIGMAS PARA UNA EDUCACIÓN AMBIENTAL ECOINTEGRAL

Uno de los últimos esfuerzos para reorientar el desarrollo y la EA fue la propuesta en la ONU, en

2015, de la *Agenda 2030 hacia el Desarrollo Sostenible*, que estableció 17 objetivos para el desarrollo sostenible y subrayó la complejidad del deterioro ambiental y la necesidad de un enfoque integral para abordar los desafíos que enfrenta la humanidad. Simultáneamente, salieron a la luz nuevos paradigmas, basados en corrientes de pensamiento heterodoxo que buscan abordar esta nueva realidad y reorientar el sistema dominante hacia un camino que permita la coexistencia equilibrada de todas las formas de vida en el planeta.

Uno de ellos es el *biocentrismo* que, arraigado en la ética filosófica, cuestiona el antropocentrismo como la causa principal de los problemas ecológicos actuales y postula que el ser humano no tiene un valor superior al resto de la naturaleza. Esta corriente destaca la importancia de la vida y la biodiversidad, promueve el igualitarismo biosférico como una contraposición al antropocentrismo, culpable de deteriorar la calidad de vida humana (Massieu y Talavera, 2022). La negación de las necesidades de otras especies, frecuentemente inconsciente, limita nuestra capacidad de empatizar con la biodiversidad, relegándola a un mero proveedor de recursos naturales, olvidando que compartimos un origen común.

La *ecología profunda*, otro paradigma derivado del biocentrismo, surge de las ideas del filósofo Arne Naess, que propone una reflexión profunda sobre cómo vivimos y cuestiona la superficialidad con la que se abordan los problemas ambientales y sociales. Esta corriente contrasta con un enfoque superficial de la ecología, que prioriza la solución de problemas ambientales solo en relación con la población humana, mientras que la ecología profunda reconoce que los impactos negativos afectan a todos los seres vivos de la Tierra (Conejo, 2022), subraya la importancia de ver a la naturaleza como un sistema interconectado en el que todos los seres vivos tienen un valor intrínseco, promueve la satisfacción de necesidades simples sobre el crecimiento económico ilimitado y advierte sobre los peligros del consumismo

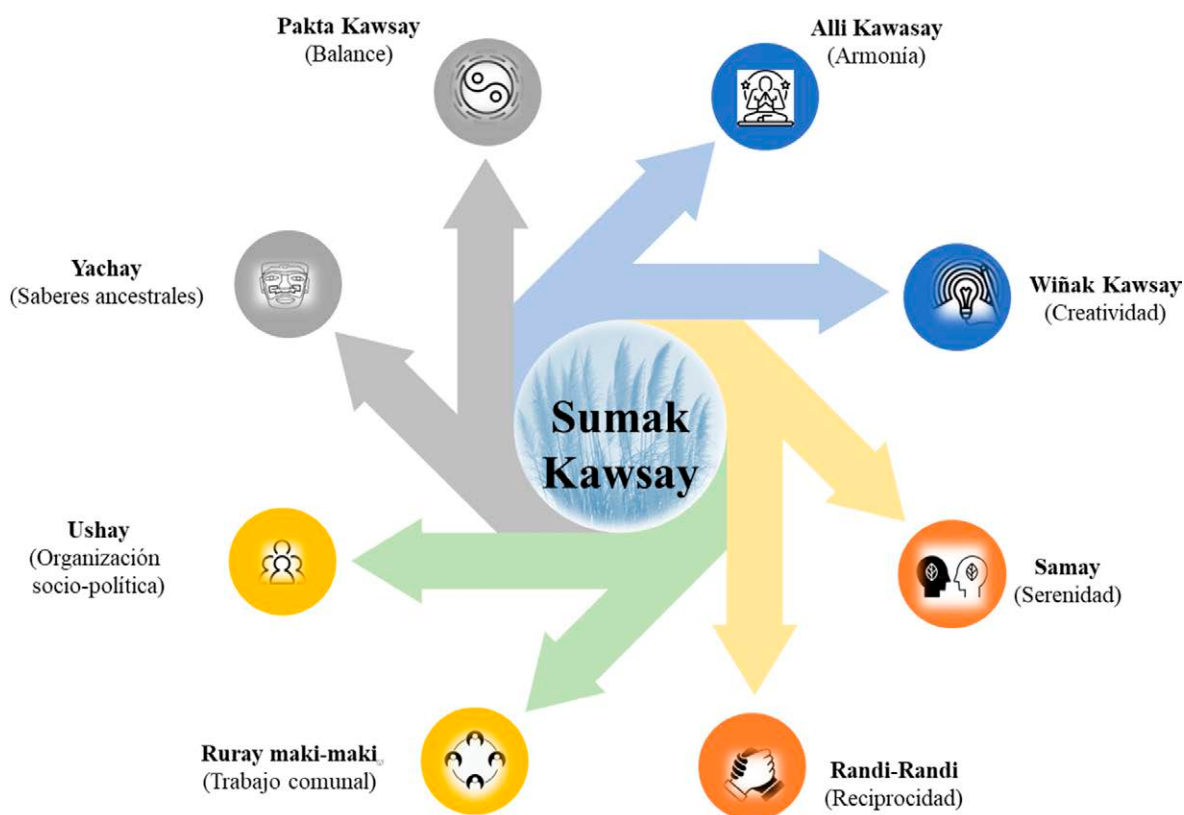


Figura 1. Principios del buen vivir (Sumak Kawsay). (Elaborado por las autoras a partir de Collado, JC, 2021).

Por último, el paradigma *Sumak Kawsay*, una concepción andina ancestral, aboga por una vida en armonía y equilibrio con la naturaleza, una vida en que lo espiritual y lo material se entrelazan en una relación holística. Desde esta perspectiva, la realidad se percibe como una totalidad interconectada donde la naturaleza no es simplemente un recurso para satisfacer necesidades humanas, sino un complejo entramado material y emocional que también incluye aspectos espirituales. El *Sumak Kawsay*, originario del pueblo kichwa de Sarayaku, en Ecuador, se fundamenta en un sistema de relaciones sociales, políticas, económicas, ambientales y espirituales que se conciben como el sentido ideal de la vida (Vásquez *et al.*, 2021) o el “buen vivir” (Figura 1).

El *Sumak Kawsay* aborda una postura crítica hacia el modelo económico actual; argumenta que la modernidad ha fragmentado el mundo a través

de la ciencia, y destaca la necesidad de reconocer que la vida, la energía y la espiritualidad son componentes intrínsecos del todo, incluyendo deidades con vínculos estrechos con la naturaleza.

Además de los paradigmas ambientales alternativos, es necesario plantear una perspectiva diferente para reformular la EA. Esta perspectiva se encuentra en la pedagogía crítica, influenciada por pensadores como Paulo Freire y Henry Giroux. Esta pedagogía cuestiona la enseñanza tradicional que limita el pensamiento crítico, y propone una educación diversa e inclusiva que promueva el diálogo entre diferentes perspectivas y emociones para enriquecer el conocimiento y abordar problemas sociales (Franco *et al.*, 2021). Se busca, así, fortalecer a los individuos para resistir y emanciparse del modelo capitalista y neoliberal, promoviendo una sociedad humanista e inclusiva. Esta perspectiva se enfoca en la formación integral de las personas, combina la inteligencia con la sensibilidad y fomenta la reflexión crítica y la autonomía.



Figura 2. Coincidencias heterodoxas en la pedagogía crítica. (Elaborado por las autoras a partir de Vásquez *et al.*, 2021 y Alejandro-García, 2022).

De manera integradora, estos paradigmas alternativos ofrecen miradas diferentes para abordar los desafíos contemporáneos, desde la revalorización de la conexión con la naturaleza, hasta la promoción de una educación que fomente la reflexión y la acción transformadora hacia una vida digna y en armonía con el planeta (Figura 2). Estas perspectivas invitan a replantear nuestros valores y prácticas con el fin de construir un futuro más sostenible y equitativo para todos los seres vivos.

EDUCACIÓN AMBIENTAL HOLÍSTICA E INTEGRADA

La EA no ha logrado el impacto esperado debido a la continua priorización de una educación mecanicista que transfiere conocimientos superficiales y no aborda el problema de fondo, hace énfasis en prácticas para remediar (*a posteriori*), en lugar de prevenir (*a priori*). Sin embargo, el problema ambiental es mucho más complejo y multidimensional de lo que se percibe, y requiere una comprensión integral y holística.

Es necesario dejar de lado la visión productivista y reformular una EA basada en principios de vida digna y equitativa para todos los seres vivos del planeta. Esto implica una revisión profunda del currículo educativo y la integración de posturas humanistas-ambientales, crítico-sociales, económico-solidarias, descolonizadoras y espirituales, para que estas concepciones permeen y den otro sentido a la educación, de manera que se evite el sesgo que propicia la invisibilización del medio ambiente en la vida humana. Se pretende con ello evitar el ver a la naturaleza como una externalidad y asumirla como la parte intrínseca de la cotidianeidad.

Se propone la creación de un nuevo enfoque en la educación ambiental que priorice la prevención del daño al ecosistema y

promueva una concepción de la vida humana como parte igualitaria y dependiente de la biosfera que habita. Este enfoque debe aplicarse desde lo local, para generar un impacto global, y debe considerar la importancia de satisfacer las necesidades espirituales para reducir el consumismo por vacío emocional, es decir, el sentipensamiento que cambie la dialéctica actual de la vida digna, con la esperanza de que la vida humana prevalezca en armonía con el ambiente para dar a luz un nuevo modelo civilizatorio.

R E F E R E N C I A S

- Alejandro-García S (2022). Educación ambiental para la sustentabilidad, una apuesta desde la pedagogía crítica y sentipensante. *Revista CoPaLa Construyendo Paz Latinoamericana* 7:68-77.
- Casas A y Arellano E (2022). Pasado y futuro del cambio climático y el calentamiento global. *Ecofronteras* 26:22-26.
- Collado J (2021). El enfoque transdisciplinar en la educación ambiental. En Astudillo JC y Astudillo T. (eds.) *Educación para el desarrollo*



© José Kuri Breña. *Rostro silvestre*. Escultura, bronce a la cera perdida, 1990.

regenerativo en la reserva de biosfera Yasuní Guía para la reflexión docente y el trabajo en aula. (pp. 9-30.) Universidad de Azuay, Ecuador.

Conejo A (2022). El ecologismo profundo de Arne Naess: un cambio total como respuesta a la antropogénesis de la crisis ecológica. Recuperado de: <https://zaguan.unizar.es/record/118572>.

Eschenhagen ML y Sandoval F (2023). La cooptación de la educación ambiental por la educación para el desarrollo sostenible; un debate desde el pensamiento ambiental latinoamericano. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8734046.pdf>.

Franco MAS, Mota GC y Silva LG (2021). Pedagogía crítica: por una epistemología crítica e insurgente. *Educere et Educare* 38:73-96.

González-Gaudiano EJ y Gutiérrez J (2020). ¿Cómo educar sobre la complejidad de la crisis climática? *Revista Mexicana de Investigación Educativa RMIE* 87:843-872.

Massieu Y y Talavera I (2022). Biocentrismo: conflicto epistemológico y social en la relación sociedad-naturaleza. *Veredas, Revista del pensamiento sociológico*. 42:14-45.

Naciones Unidas (2021). ¿Qué es el cambio climático? Acción por el clima. Recuperado de: <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change#:~:text=El%20cambio%20clim%C3%A1tico%20se%20refiere,solar%20o%20a%20grandes%20erupciones%20volc%C3%A1nicas>.

Terrón E (2019). Esbozo de la educación ambiental en el currículum de educación básica en México, Una revisión retrospectiva de los planes y programas de estudio. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos* 49:315-346.

Adriana Flores Guevara
María Esther Méndez Cadena
Colegio de Postgraduados campus Puebla
mesther@colpos.mx

© José Kuri Breña. *Visión interior*. Escultura, bronce a la cera perdida, 1990.



Biocatálisis enfocada en la sostenibilidad

María Guadalupe **Sánchez-Otero**

En todos los organismos vivos, desde los unicelulares hasta los más complejos como los mamíferos superiores, la supervivencia depende de reacciones químicas necesarias para construir biomoléculas o para obtener energía de ellas; este proceso se conoce como metabolismo y no podría ocurrir sin la ayuda de moléculas llamadas enzimas. Las enzimas, al reducir la energía de activación, aceleran las reacciones químicas esenciales para la vida, y debido a que son las responsables de la catálisis de reacciones químico-biológicas, se les denomina “biocatalizadores” (Nelson *et al.*, 2018).

Las enzimas son moléculas de origen proteico conformadas por un determinado número de aminoácidos con una cierta secuencia, unidos entre sí y que se pliegan en una forma tridimensional específica; esta forma o plegamiento define la reacción específica que catalizará cada una de ellas.

La catálisis se lleva a cabo una vez que las enzimas reconocen sustratos específicos en un lugar llamado sitio activo, que es el espacio en su estructura que puede llevar a cabo reacciones químicas. Las enzimas pueden ser sujetas a regulación e inhibición; algunas enzimas necesitan un constituyente adicional denominado cofactor, tal como algunos iones inorgánicos o alguna molécula orgánica o metalo-orgánica compleja llamada coenzima. La actividad enzimática se ve influenciada por cambios

en el pH, la temperatura y las condiciones del medio. Las enzimas se nombran comúnmente según la reacción en la que participan con la terminación “asa”, por ejemplo, una ligasa es aquella que crea un enlace o “liga” para unir dos moléculas. También hay un sistema de nomenclatura que usa el nombre del sustrato y el tipo de reacción, por ejemplo, la glucosa oxidasa. Cuando existe un conjunto de enzimas para un proceso se le llama “sistema”, como el sistema de succinato oxidasa, formado por al menos dos enzimas (Nelson *et al.*, 2018).

BIOCATÁLISIS: INICIO Y ESTADO ACTUAL

La acción catalítica de las enzimas se conoce desde principios del siglo XIX; las primeras conocidas fueron enzimas hidrolíticas tales como la pepsina. El concepto de catalizadores también surge en esa época, junto con el conocimiento de que las enzimas se comportaban como catalizadores. A inicio del siglo XX se llevó a cabo la primera síntesis enantioespecífica, es decir, con un reconocimiento altamente específico de la conexión, posición y orientación de los enlaces químicos que utilizaba enzimas, y se realizó para producir un compuesto denominado (R)-mandelonitrilo, con el uso de un extracto vegetal que contenía una enzima llamada hidroxinitrilo liasa; se considera que con este descubrimiento inicia el campo de la biocatálisis, concepto que se puede definir como el uso de moléculas biológicamente activas para catalizar transformaciones químicas. A partir de ese momento, el avance en la biocatálisis y sus aplicaciones ha sido constante, y en las últimas décadas se ha desarrollado rápidamente. En un principio, se usaron enzimas crudas, es decir, como se obtienen directamente de los organismos, ya sea extrayéndolas o produciéndolas en cultivos. Posteriormente, se pudo hacer uso de enzimas purificadas, y al llegar las técnicas de biología molecular para producir enzimas recombinantes (se producen usando los genes de una especie expresados en bacterias, hongos, células cultivables de plantas y animales, que no sintetizan estas proteínas de manera natural).

Con todo lo anterior, de acuerdo con Heckmann y Paradisi (2020), la biocatálisis se ha revolucionado y ha avanzado con la ingeniería de enzimas, permitiendo la creación de biocatalizadores altamente específicos y eficientes. Actualmente se hacen mejoras en la estructura de las enzimas con herramientas de bioinformática; así, se pueden modificar las condiciones de reacción, la forma de la enzima (soluble o inmovilizada), o realizar evolución dirigida para obtener enzimas cada vez más eficientes y resistentes.

En particular, el uso de enzimas inmovilizadas (aquellas que están confinadas o unidas a un material sólido que funciona como soporte) permitió un gran avance, ya que estas biomoléculas, al ser proteínas, están sujetas a desnaturalización por la temperatura y otros factores, y al ser solubles, son difíciles de recuperar del medio e imposibles de ser reusadas. Con la inmovilización, se obtienen derivados estables, fácilmente recuperables del medio de reacción y con capacidad de reutilización (Maghraby *et al.*, 2023).

ENZIMAS APLICADAS A BIOCATÁLISIS INDUSTRIAL

La fuente más común para obtener enzimas para aplicaciones industriales son los microorganismos (bacterias, hongos y levaduras), ya que proporcionan ventajas sobre las enzimas de origen animal o vegetal: tienen una alta velocidad de replicación, una disponibilidad constante, alta producción y la posibilidad de aplicar métodos de cultivo para cada tipo de microorganismo. En esos cultivos, los microorganismos pueden producir enzimas y liberarlas hacia el medio. Para algunas aplicaciones, las enzimas pueden usarse directamente de estos medios o con unos pocos pasos de purificación; sin embargo, las enzimas usadas para fines terapéuticos o para pruebas diagnósticas requieren un grado de pureza del 100 %. Actualmente, las enzimas recombinantes se pueden obtener en grandes cantidades y de forma relativamente sencilla, y tienen características similares o mejores que las de la enzima nativa (Arroyo, 2014).

Entre las enzimas más populares para aplicaciones industriales se encuentran las oxidorreductasas y las hidrolasas; las primeras se encargan de

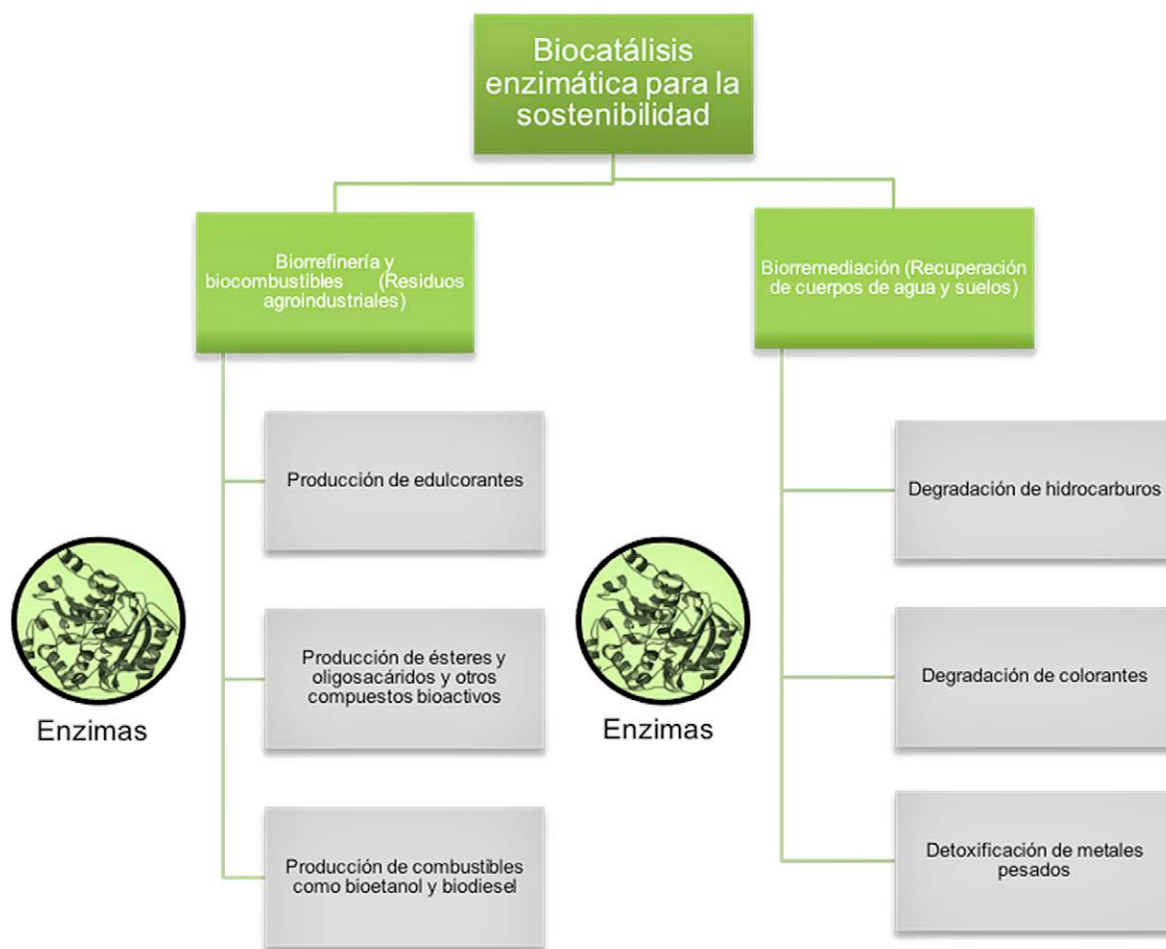


Figura 1. Biocatálisis enzimática aplicada a la sostenibilidad. (Elaboración propia adaptada de Ottone *et al.*, 2021).

catalizar reacciones de transferencia de electrones (reacciones redox), y las segundas catalizan la descomposición de moléculas grandes en unidades más pequeñas en presencia de agua (Fasim *et al.*, 2021).

Las principales aplicaciones de las enzimas están en la industria alimentaria en procesos tales como la clarificación de jugos, la modificación de grasas lácteas, la hidrólisis de proteínas y la producción de sabores; en la industria farmacéutica se usan para la síntesis de fármacos e intermediarios específicos; en el área de la salud, para la producción de biosensores y kits de análisis clínicos; en la industria de los detergentes, como aditivos para formulaciones industriales y de uso casero; además, se emplean en las industrias peletera, papelera y textil. Un campo importante es el que tiene que ver con procesos aplicados para la sostenibilidad (Arroyo, 2014; Fasim *et al.*, 2021).

BIOCATÁLISIS Y SOSTENIBILIDAD

La sostenibilidad se refiere a que las actividades humanas estén en equilibrio entre el desarrollo económico, social y ambiental para satisfacer las necesidades de la población actual sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones; para ello es necesario utilizar los recursos naturales de manera responsable y adaptar los quehaceres humanos a los 17 *objetivos del desarrollo sostenible* (ODS), entre los que se encuentran la garantía de una educación de calidad, la promoción de la igualdad de género, la acción contra el cambio climático, la garantía de energía asequible y no contaminante y la de agua limpia y saneamiento para todos (Organización de las Naciones Unidas [OMS], 2023).



© José Kuri Breña. *Desnudo sin nombre*.
Escultura, bronce a la cera perdida, 1989.



© José Kuri Breña. *Drapeado*.
Escultura, bronce a la cera perdida, sfp.

Existen áreas en las cuales la biocatálisis puede ser utilizada para apoyar al cumplimiento de estos ODS mediante el aprovechamiento de residuos para producir derivados con uso posterior (biorrefinería), la producción de combustibles (biocombustibles), la degradación de contaminantes y la recuperación de suelos y cuerpos de agua (biorremediación), tal como se muestra en la Figura 1.

BIORREFINACIÓN Y BIOCOMBUSTIBLES

La biorrefinación es el conjunto de procesos sostenibles encaminados a la obtención de productos de valor agregado necesarios para el quehacer humano a partir de materias primas que fundamentalmente son residuos agroalimentarios, de una manera semejante como hacen las refinerías tradicionales en las que, a partir de petróleo crudo, se generan productos como gasolina, polímeros y otros productos químicos. La biocatálisis es y será esencial para establecer una economía circular, es decir, aquella que optimiza los procesos, minimiza la generación de residuos al medioambiente y fomenta la reutilización y el reciclaje (Ezeorba *et al.*, 2024).

El tipo de residuo es el que marca la pauta para el proceso enzimático requerido, ya que su composición varía en dependencia de la industria que

generó los desechos. En el futuro, la generación de residuos ricos en biomasa, asociada a la agricultura, estará enfocada en la producción de biocombustibles, edulcorantes, bioplásticos y prebióticos mediante el uso de hidrolasas tales como las xilanasas, celulasas, amilasas e isomerasas. La industria pesquera genera toneladas de residuos ricos en quitina, el biopolímero de los caparazones de los crustáceos que puede ser procesado con quitinasas para producir bioplásticos y otros derivados. La industria de producción de lácteos genera cantidades importantes de residuos altos en proteínas y lactosa como lo son los sueros derivados de la producción de caseínas y quesos, por lo que pueden usarse diversas proteasas, isomerasas y epimerasas para su aprovechamiento (Ottone *et al.*, 2021).

Adicionalmente, en los residuos de origen vegetal existen compuestos que son parte del metabolismo secundario de las plantas y que les son útiles como defensa o factores de crecimiento, y muchos de ellos tienen propiedades biológicas importantes y pueden ser usados como nutraceuticos o como ingredientes en cosméticos y fármacos, como agentes bactericidas, antiparasitarios, antifúngicos y antivirales. Estos compuestos se desaprovechan si los residuos vegetales no son biotransformados para su recuperación. Compuestos valiosos como polifenoles, carotenoides, terpenos, entre otros, pueden ser extraídos por procesos de biorrefinería con enzimas



© José Kuri Breña. *Sueño marino*.
Escultura, bronce a la cera perdida, sfp.



© José Kuri Breña. *Caracol Strombus*.
Escultura, bronce a la cera perdida, sfp.

hidrolíticas como celulasa, amilasa y glucosidasas (Ezeorba *et al.*, 2024).

La obtención de biocombustibles a partir de residuos agroalimentarios es ya posible con el uso de enzimas; el biogás, el bioetanol y el biodiesel ya se obtienen a partir de desechos procesados con enzimas, y cada vez más y más sectores se suman a investigar nuevas fuentes de biocatalizadores y nuevos procesos y tecnologías para mejorar los rendimientos. De manera ideal, en el futuro, las biorrefinerías serán espacios donde carbohidratos y grasas serán la base de la producción de combustibles y de la generación de energía, y no los hidrocarburos; estas biorrefinerías serán fundamentales en la sostenibilidad y la economía circular (Haque *et al.*, 2022)

El biodiesel, combustible producido a partir de residuos con altas concentraciones de grasas o aceites vegetales, se produce de manera sostenible con un grupo de enzimas muy versátiles llamadas lipasas que, de manera natural, hidrolizan las grasas; además, en presencia de solventes orgánicos pueden llevarse a cabo reacciones como la transesterificación, en la que los triacilglicéridos se transforman en los ésteres metílicos que constituyen el biodiesel. El bioetanol, por su parte, se produce a partir de la fermentación de residuos altos en carbohidratos, como la celulosa, la xilosa y la lignocelulosa, mediante mezclas de enzimas como celulasas y xilanasas para producir azúcares simples que después

serán fermentados por levaduras o bacterias hasta producir etanol.

El biogás (mezcla de metano, hidrógeno y dióxido de carbono) generalmente se produce por reacciones de biodegradación de materia orgánica llevadas a cabo por microorganismos completos con sistemas de enzimas como hidrogenasas y nitrógenasas (Ezeorba *et al.*, 2024; Haque *et al.*, 2022).

BIORREMEDIACIÓN

La biorremediación es la restauración del equilibrio del medio ambiente mediante el uso de microorganismos o sus enzimas para degradar, eliminar, inactivar o transformar contaminantes de suelo, agua y aire que están presentes debido al daño provocado por la actividad industrial. La elección del método (mediante organismos vivos o solo enzimas) dependerá del grado de contaminación del ambiente y del tipo de contaminante. La biorremediación sustituye a los procesos que tradicionalmente se empleaban para revertir la contaminación de suelos, tales como la remoción y el confinamiento de estos, o la combustión y la exposición a radiación ultravioleta. Es necesario considerar que hay diversos factores que pueden determinar el éxito de la biorremediación, por ejemplo, la existencia de microorganismos



© José Kuri Breña. *Caracol*.
Escultura, bronce a la cera perdida, sfp.



© José Kuri Breña. *Venus naciente*.
Escultura, bronce a la cera perdida, sfp.

naturales del lugar contaminado que pueden competir con las cepas agregadas (si se usan microorganismos); por otra parte, el contaminante debe ser accesible a ellos. Especial atención debe ponerse en los factores del entorno. En ese sentido, el uso de preparados enzimáticos tiene la ventaja de evitar preocupaciones sobre la supervivencia de los organismos biorremediadores ya que, a diferencia de los organismos vivos, las enzimas no requieren nutrientes, y el uso de enzimas inmovilizadas permite su reutilización (Haque *et al.*, 2022; Ottone *et al.*, 2021).

Las principales fuentes de contaminación de origen humano son las industrias metalúrgicas, las de producción de pesticidas, textiles y derivados químicos, el transporte, la industria petroquímica y la de producción de energía; todas ellas arrojan al medio ambiente compuestos orgánicos hidrocarburos y derivados, compuestos aromáticos halogenados, bifenilos policlorados, nitroaromáticos y metales pesados como mercurio, zinc, cromo, cadmio y plomo. Actualmente, se sabe que diversos compuestos producidos por el hombre son causa de riesgos metabólicos o endócrinos relacionados con obesidad y otros padecimientos. Uno de los obesógenos mejor caracterizados es el tributilestaño, que se utiliza ampliamente en la industria y en la agricultura y con el que el humano entra en contacto por medio del

consumo alimentos, agua, microplásticos y superficies contaminadas (Ottone *et al.*, 2021).

Las enzimas más utilizadas en los procesos de biorremediación son las oxidoreductasas, ya que tienen una alta capacidad de degradar contaminantes de origen orgánico tales como insecticidas, plaguicidas y diversos compuestos fenólicos e hidrocarburos; entre las más relevantes se encuentran las peroxidasas, que son oxidoreductasas que utilizan peróxido de hidrógeno para catalizar procesos oxidativos y son obtenidas de hongos y de vegetales como el rábano picante. Las lacasas son otro grupo de enzimas del grupo de las polifenoloxidasas capaces de oxidar compuestos carcinógenos tales como triclorofenoles, diversos pesticidas y tintes. Las azorreductasas pueden degradar a los colorantes azoicos hasta convertirlos en sus correspondientes colorantes menos dañinos. Existen también otras enzimas, tales como las monooxigenasas y las tirosinasas, que se pueden emplear como adyuvantes en la degradación de diversos contaminantes. (Haque *et al.*, 2022; Ottone *et al.*, 2021).

Para la inactivación o remoción de metales pesados en diversos ambientes, se ha explorado el uso de enzimas diversas, por ejemplo, cisteín-proteasas como la bromelaína (abundante en la piña) y la papaína (presente en el látex de papaya). Estos compuestos son eficientes en la remoción de plomo, níquel, mercurio y cobre. Las ureasas y lacasas de



© José Kuri Breña. *Sueño*.
Escultura, bronce a la cera perdida, sfp.



© José Kuri Breña. *Meditación*.
Escultura, bronce a la cera perdida, 1985.

diferentes orígenes también han sido exitosamente utilizadas en la remoción de mercurio y cobre (Chatterjee *et al.*, 2019).

CONCLUSIÓN

La capacidad catalítica de las enzimas las ha hecho insustituibles en áreas tales como las industrias alimentaria, peletera, papelera y farmacéutica, además de en la salud y el diagnóstico; indudablemente, contribuyen a que el quehacer humano sea más sostenible. En ese sentido, también pueden contribuir al establecimiento de un modelo de economía circular en todo el mundo y a revertir el impacto medioambiental que se genera por las actividades humanas. Por todo ello, es necesario continuar estudiando diversas fuentes de enzimas, así como las técnicas para su mejoramiento y aplicación.

REFERENCIAS

- Arroyo M, Acebal C y Mata I (2014). Biocatálisis y biotecnología. *Arbor* 190(768):a156. <https://doi.org/10.3989/arbor.2014.768n4010>.
- Chatterjee S, Pandit S and Fosso-Kankeu E (2019). Removal of Heavy Metal Pollutants from Wastewater Using Immobilized Enzyme Techniques: A Review. En E Fosso-Kankeu (Ed.), *Nano and Bio-Based Technologies for Wastewater Treatment* (pp. 459-479) John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119577119.ch13>.
- Ezeorba TPC, Okeke ES, Mayel MH, Nwuche CO and Ezike TC (2024). Recent advances in biotechnological valorization of agro-food wastes (AFW): Optimizing integrated approaches for sustainable biorefinery and circular bioeconomy. *Bioresource Technology Reports* 101823.
- Fasim A, More VS and More SS (2021). Large-scale production of enzymes for biotechnology uses. *Current Opinion in Biotechnology* 69:68-76. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.12.002>.
- Haque S, Singh R, Harakeh S *et al.* (2022). Enzyme-based biocatalysis for the treatment of organic pollutants and bioenergy production. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 38:100709. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100709>.
- Heckmann CM and Paradisi F (2020). Looking Back: A Short History of the Discovery of Enzymes and How They Became Powerful Chemical Tools. *ChemCatChem* 12(24):6082-6102. <https://doi.org/10.1002/cctc.202001107>.
- Nelson DM y Cox M. Lehninger. Principios de Bioquímica. 7a Edición. España: Ed. Omega; 2018
- Maghraby YR, El-Shabasy RM, Ibrahim AH and Azzazy HMES (2023). Enzyme immobilization technologies and industrial applications. *ACS Omega* 8(6):5184-5196. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c07560>.
- Organización de las Naciones Unidas [OMS]. (2023). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial. Recuperado de: https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf.
- Ottone C, Romero O, Urrutia P, Bernal C, Illanes A and Wilson L (2021a). Enzyme Biocatalysis and Sustainability. In: Piumetti, M., Bensaid, S. (eds) *Nanostructured Catalysts for Environmental Applications*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58934-9_14.

María Guadalupe Sánchez-Otero
Facultad de Bioanálisis Región Veracruz
Universidad Veracruzana
quadsanchez@uv.mx



© José Kuri Breña. *Sin título*. Escultura, bronce a la cera perdida, sfp.



© José Kuri Breña. *Sin título*. Escultura, bronce a la cera perdida, sfp.

Los beneficios de revalorizar nuestros residuos

Alejandra Torres Lara
Juan Fernando García Trejo

En la sociedad actual hemos normalizado un ritmo de consumo cada vez mayor. Desde alimentos hasta objetos tecnológicos, pasando por prendas de vestir, y cosméticos, entre otros, nuestra demanda no cesa. Esta tendencia, impulsada en parte por el aumento poblacional, tiene un doble filo. Si bien impulsa la economía, también trae consigo diversos daños ambientales ocasionados por los procesos de manufactura y transporte. Uno de los problemas más visibles es el aumento en la generación de residuos. En este artículo nos centraremos en los residuos y el beneficio que conlleva su revalorización.

Para abordar este tema, primero debemos entender qué es un residuo. La Real Academia Española lo define como aquel material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación. En términos legales en México, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos define a los residuos como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha, y que pueden ser valorizados, o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley.

Es relevante destacar que la misma ley promueve la revalorización de los desechos. Una iniciativa que, sin duda, busca mitigar los problemas de contaminación derivados de la acumulación de residuos.

Pero, ¿cómo se clasifican estos residuos? Existen tres grandes grupos, los cuales se diferencian en función de sus características y orígenes: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP) (LGPGIR, 2003). En este artículo, nos enfocaremos en la porción de los residuos orgánicos que se encuentra dentro de los RSU generados en el país.

RELEVANCIA DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS Y SU POTENCIAL DE REVALORIZACIÓN EN MÉXICO

México se encuentra en una posición destacada a nivel mundial en cuanto a la generación de residuos orgánicos. Según datos del INEGI (2020), el 52.4 % de los RSU en el país está constituido por material orgánico, como restos de comida y desechos de jardinería. Sorprendentemente, del total de estos residuos, un 21.2 % tiene potencial de revalorización en mercados ya consolidados.

Esto sugiere una oportunidad económica y de desarrollo significativa. Sin embargo, enfrentamos desafíos para aprovechar esta oportunidad, principalmente debido a las complejidades logísticas en la cadena de suministro. Estas dificultades surgen de factores como la infraestructura de transporte, la concentración urbana y la diversidad geográfica y sociopolítica del país.

La mala gestión de los residuos orgánicos no solo representa una oportunidad económica perdida, también un riesgo ambiental y de salud. Estos residuos contribuyen con un 5 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Sin embargo, revalorizar los residuos puede atenuar estos problemas. Los residuos tratados adecuadamente pueden transformarse en nuevos productos, ya sea directamente o a través de procesos físicos, químicos o biológicos.

Por ejemplo, las tecnologías físicas se centran en modificar propiedades como el tamaño o la humedad de los residuos. Las tecnologías químicas aplican diversas reacciones a las materias, entre las más comúnmente utilizadas se encuentran la

combustión, la pirólisis y la gasificación. Y por último, las tecnologías biológicas, donde los residuos pueden utilizarse como alimento para el crecimiento de microorganismos y organismos. En el caso de los microorganismos, a partir de su digestión se generan productos de alto valor comercial; además de los organismos empleados es posible extraer aún más compuestos que son utilizados para fabricar productos de diversa índole. En todos estos procesos pueden obtenerse diferentes tipos de productos, desde combustibles, fármacos y fertilizantes, hasta alimentos para animales, plásticos y compuestos químicos (Yaashikaa *et al.*, 2022).

A pesar de los potenciales beneficios que involucra, el mercado de revalorización en México aún es incipiente. Sin embargo, a escala global, la tendencia está cambiando. Los consumidores están favoreciendo productos sostenibles y éticos, lo que potencia una economía circular.

La economía circular, propuesta en 1966, es un modelo que busca el desarrollo sostenible al minimizar insumos y desperdicios. Se fundamenta en los principios de las 3 R: reducción, reutilización y reciclaje. Su objetivo es que los subproductos sean recursos para nuevos ciclos productivos. Este modelo no solo exige un cambio en la industria, sino también en el comportamiento del consumidor. Acciones cotidianas, como separar residuos o evitar productos no reciclables, son esenciales. Se estima que la adopción de la economía circular podría añadir 4.5 billones de dólares a la economía global para 2030, y 25 billones para 2050. Solo en reciclaje, reutilización y remanufactura se podría desbloquear 1 billón de dólares anuales para 2025 (Foro Económico Mundial, 2019).

EL MANEJO CONVENCIONAL DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN MÉXICO Y ESTRATEGIAS PARA MEJORAR

Según el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos (DBGIR) 2020, México produce 44 millones de toneladas de RSU anuales, es decir, 120,128 toneladas diarias; esta cantidad es comparable al peso de 300 aviones comerciales. Se estima que cada habitante por día genera 0.944 kg de RSU;

tan solo entre 2010 y 2020, esta cifra aumentó 20 mil toneladas diarias adicionales.

Lamentablemente, la gestión de los RSU dista mucho de ser la adecuada. Oficialmente, en México existen dos tipos de sitios de disposición final de los residuos: 1) los rellenos sanitarios son la opción más efectiva, ya que cuentan con la infraestructura adecuada para contener y controlar el escape de materiales, lixiviados (sustancias líquidas que circulan entre los residuos de los vertederos) y gases que pudieran ser nocivos; y 2) los rellenos de tierra controlados, que se diferencian de los primeros en la capacidad de impermeabilización de su infraestructura, la cual no cumple con las especificaciones para controlar los lixiviados. Sorprendentemente, solo el 13 % de los rellenos sanitarios en México son adecuados y cumplen con las normas establecidas (SEMARNAT, 2022). Aunque todas las entidades federativas cuentan con rellenos sanitarios, esto no es suficiente para satisfacer las necesidades nacionales. Y pese a esto, la solución no radica en erigir más; por el contrario, se busca plantear alternativas para reducir el volumen de los RSU depositados en ellas.

Cabe destacar que el destino final de la mayor parte de los RSU depende de los consumidores. Tan solo 144 municipios en el país practican la recolección selectiva, de la cual se recuperan solo el 5.8 % del total generado (SEMARNAT, 2022).

En cuanto a la fracción orgánica, a escala nacional se producen aproximadamente 56,427 toneladas diarias, con un potencial considerable para el tratamiento mediante compostaje o biodigestión (PNPGIR, 2022).

El hábito de la separación de RSU en casa es crucial para fomentar que la revalorización, como modelo de negocio lucrativo, se vuelva una realidad. Lo anterior se debe a que la descomposición de los residuos conlleva su contaminación, reduciendo drásticamente sus posibilidades de revalorización.

Esta problemática ha motivado la creación de nuevas legislaciones y normativas, destacando el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2022-2024. Este programa se encarga de analizar la capacidad real de reciclaje en el

país, así como de fomentar el crecimiento de las unidades que realizan alguna actividad de revalorización.

ESTRATEGIAS DE REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Biogás: energía a partir de desperdicio. Los biodigestores anaeróbicos se caracterizan por ser un biosistema que emplea los procesos biológicos de la descomposición de materia orgánica realizada por los microorganismos; la descomposición de la materia se realiza en ausencia del oxígeno, produciendo metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). El 10 % de la materia se transforma en lodos, mientras que el 90 % restante se emplea como gas. Este biogás puede utilizarse como una fuente de energía renovable para la generación de electricidad o como combustible. Tan solo en el 2015, la SAGARPA reportó que, en México, la bioenergía generada a partir de biodigestores representó aproximadamente el 8 % del consumo de energía primaria.

En México se reportan alrededor de 800 biodigestores domésticos, 109 productivos y más de 1000 industriales, promovidos por diversas dependencias gubernamentales o fundaciones del sector privado. Sin embargo, en los últimos años se ha duplicado el número de biodigestores, ya que para el 2024 la Ley para la Transición Energética tiene como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 35 % (SENER 2017).

Compostaje y vermicompostaje: transformando desperdicio en nutrientes. Una de las estrategias más ampliamente usadas para revalorizar los residuos orgánicos es el compostaje. Estos procesos biológicos, basados en la acción de microorganismos aerobios y lombrices (en el caso del vermicompost), transforman los residuos en abono natural rico en nutrientes. La práctica del compostaje no solo reduce la cantidad de residuos destinados a los vertederos, sino que también produce un recurso valioso para la agricultura y la jardinería. Diversos estudios respaldan los beneficios económicos y



Figura 1. Estrategias de revalorización. Métodos más comunes para revalorizar y los productos derivados de la revalorización.

ambientales de estas estrategias a nivel local. En México existen diversas empresas dedicadas a la elaboración de compostaje a partir de residuos industriales y domésticos, por ejemplo, Hagamos composta juntos, Gaia Orgánicos, Aldea Verde, COMPOSTAMEX, El Morado Compost, entre otras. Esto sugiere que puede ser un medio rentable.

Tecnologías Emergentes. La investigación continua ha llevado al desarrollo de tecnologías más avanzadas para la revalorización de los residuos orgánicos. Desde la conversión termoquímica hasta la bioextracción de nutrientes, estas innovaciones buscan maximizar la eficiencia y minimizar el impacto ambiental asociado con la gestión de residuos. Estas nuevas tecnologías se apoyan de la bioprospección (la búsqueda de organismos, genes o moléculas derivadas de ellos que sean útiles para la industria); esto permite contar con estrategias más específicas para obtener compuestos de alto valor a partir de residuos particulares. Como ejemplo, puede mencionarse el uso de los residuos de la industria cárnica. A partir de ellos se pueden obtener desde fertilizantes, alimento para mascotas, jabones,

biodiésel y lubricantes, hasta grasas que son empleadas en cosméticos y procesos involucrados en la polimerización del caucho y el plástico. También se pueden mencionar la quitina (extraída de carcasas de camarón) y el ácido hialurónico (obtenido de despojos de peces); ambas sustancias son ampliamente usadas en medicina y cosméticos.

La Figura 1 resume las estrategias mencionadas en los párrafos anteriores.

LA MOSCA SOLDADO NEGRA: UN ALIADO EN LA REVALORIZACIÓN

Dentro de las tecnologías emergentes se encuentra el uso de la mosca soldado negra (MSN), una mosca muy diferente a la mosca doméstica que todos conocemos. La MSN es originaria de las zonas tropicales de América, aunque actualmente es normal encontrarla en los continentes que cuentan con un clima tropical. Además de ser inofensiva para el humano y otros animales, ya que no transmite enfermedades, también hay que agradecerle su capacidad de ahuyentar a la mosca doméstica pues compite con ella. La razón por la que la MSN es tan relevante para este artículo se debe a su capacidad

para alimentarse de los residuos orgánicos (RO) durante sus estadios larvarios. Unas 10,000 larvas son capaces de consumir 2.5 a 5 kilogramos en un solo día. El metabolismo de la larva transforma los RO en tres subproductos: 1) una materia larval rica en proteínas, que puede ser empleada como alimento para peces, aves y ganado; 2) la excreta de las larvas, llamado comúnmente *frass*, que sirve como un potente abono para los cultivos; y 3) la grasa proveniente de las larvas, que puede ser empleada para producir biodiésel (Rehman *et al.*, 2023). Otra ventaja es que su cultivo puede realizarse a pequeña escala de manera rudimentaria, tal como se muestra en la Figura 2. Existen suficientes guías accesibles en línea que ofrecen la información detallada para coleccionar las moscas en su hábitat natural e iniciar su reproducción. Una de las guías más completas que se puede consultar es la de Dortmans y colaboradores (2017).

A pesar de todas estas ventajas, en México son pocos los lugares donde se empieza a usar la MSN. Dentro del país, la planta de MSN con mayor crecimiento se encuentra en la Universidad Autónoma de Querétaro, campus Amazcala, donde la investigación

está enfocada en su producción a gran escala. En la Tabla 1 se resumen las características de funcionamiento que implican las diversas estrategias en el manejo de residuos. También se incluyen beneficios y desventajas de las mismas.

CONCLUSIÓN

La revalorización de residuos orgánicos no solo aborda problemas medioambientales, sino que ofrece oportunidades económicas significativas. La combinación de técnicas convencionales con enfoques más especializados abre un abanico de posibilidades para transformar lo que habitualmente consideramos “desperdicio” en recursos valiosos, tanto para el presente como para el futuro.

Entre las alternativas mencionadas en este artículo, aquellas más accesibles, cuando se implementan correctamente y se escalan, pueden generar beneficios económicos sustanciales. Entre estas opciones destaca el uso de la mosca soldado negra, una alternativa accesible que no requiere para su manejo de personal altamente especializado y que presenta un potencial de rendimiento

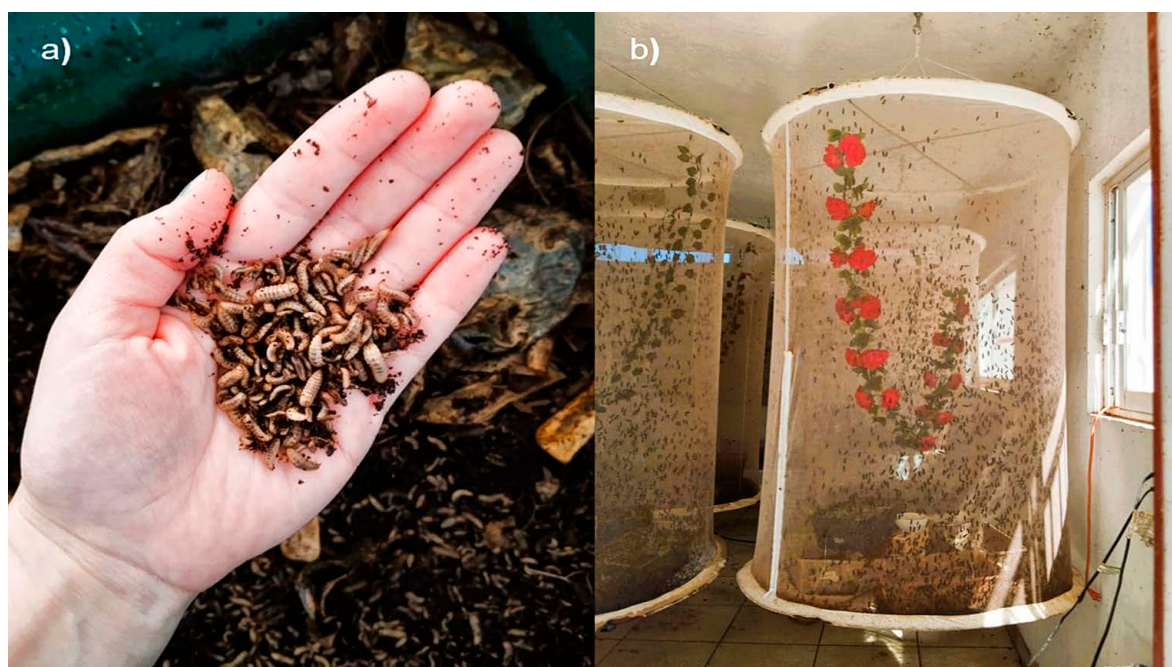


Figura 2. a) Larvas de mosca soldado negro crecidas en residuos de frutería dentro de un huacal de plástico. b) Jaulas para su reproducción, elaboradas con tela tul y varillas de herrería.

Parámetros	Convencional Relleno sanitario	Composta y vermicomposta	Mosca soldado negro	Biodigestores	Tecnologías emergentes
Accesibilidad	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Complejidad del mantenimiento	Mínimo	Mínimo	Medio	Medio	Alto
Equipo necesario	Alto (aplanadoras y grúas)	Mínimo (equipo de jardinería)	Mínimo (cajones, tamices y jaulas de malla)	Mínimo (tanques y tubos de PVC)	Alto (equipo especial de laboratorio)
Calificación del personal	Mínimo	Mínimo	Mínimo /Medio	Medio	Alto
Inversión de infraestructura	Alto	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Alto
Reducción del volumen de RO	Densidad de compac- tación de 500 kg/m ³	85 %	79 %	90 %	Depende del proceso
Contaminación por lixiviados	Sí	No	No	No	Depende del proceso
Emisión de gases	Media	Mínima	Mínima	Mínima (mientras se controle)	Depende del proceso
Impacto económico y social	Bajo	Medio	Alto	Medio	Alto

Tabla 1. Comparativa técnica del manejo de residuos convencional y alternos.

considerable, especialmente dado el crecimiento en su demanda de mercado.

El principio de la revalorización, como su nombre lo dice, consiste en valorar. Encontrar el valor de lo que consumimos nos puede llevar a descubrir nuevas maneras de usarlo.

R E F E R E N C I A S

DBGIR (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>.

Dortmans B, Diener S, Verstappen BM and Zurbrugg C (2017). Black Soldier Fly Biowaste Processing A Step-by-Step Guide. Recuperado de: https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_LR.pdf.

Foro Económico Mundial (2019). It's time for the circular economy to go global and you can help. Recuperado de: <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/its-time-for-the-circular-economy-to-go-global-and-you-can-help/>.

LPGIR (2003). Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131748/23_LEY_GENERAL_PARA_LA_PREVENCION_Y_GESTION_INTEGRAL_DE_LOS_RESIDUOS.pdf.

PNPGIR (2022). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2022-2024. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5673815&fecha=09/12/2022#gsc.tab=0.

Rehman KU, Hollah C, Wiesotzki K, Rehman RU, Rehman AU, Zhang J, Zheng L, Nienaber T, Heinz V and Aganovic K (2023). Black soldier fly, *Hermetia illucens* as a potential innovative and environmentally friendly tool for organic waste management: A mini-review. Waste Management. (1):81-97.

SAGARPA (2015). Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas primera etapa: diagnóstico nacional. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346978/Manejo_de_residuos_Detallado.pdf.

SEMARNAT (2022). Residuos. Recuperado de: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf.

SENER (2017). Reporte de inteligencia tecnológica. Biocombustibles saseosos. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/329908/Reporte_Inteligencia_Tecnologica_BIOGAS_Final.pdf.

Yaashikaa P, Kumar S and Varjan S (2022). Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: A critical review. *Bioresource Technology* 343:126126.

Alejandra Torres Lara
Juan Fernando García Trejo
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
fernando.garcia@uaq.mx

Pirólisis: la descomposición térmica de residuos

Elizabeth **Ibarra-Lizárraga**
David Ulises **Santos-Ballardo**

En el mundo se producen cerca de 2 mil millones de toneladas de residuos orgánicos al año. Actualmente, la mayoría de dichos materiales no son aprovechados, por lo que representan agentes contaminantes que tienen un alto impacto ambiental; sin embargo, se ha descubierto que mediante algunos procesos de transformación estos materiales pueden ser convertidos en recursos valiosos. Esto es posible mediante el aprovechamiento de la biomasa; es decir, materia orgánica que puede ser utilizada como fuente de energía y que por lo general está constituida esencialmente de moléculas complejas compuestas de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, y de elementos inorgánicos como el azufre en baja proporción. La biomasa pueden ser árboles y arbustos de los bosques, plantas que crecen naturalmente o en producciones agrícolas, y materias acuáticas diversas, como diferentes tipos de algas. La biomasa tiene un uso muy importante en la generación de energía (producción de biocombustibles) y contribuye, por tanto, en la disminución del uso de combustibles fósiles y en su progresiva sustitución (Mejía-Madrigal y Upegui-Sosa, 2022).

La forma y la composición de la biomasa es una barrera importante para su transformación rápida y fácil a biocombustibles. Una de las desventajas de la biomasa es la dificultad de manipularla, almacenarla o transportarla, especialmente cuando se busca su conversión a bioenergía.

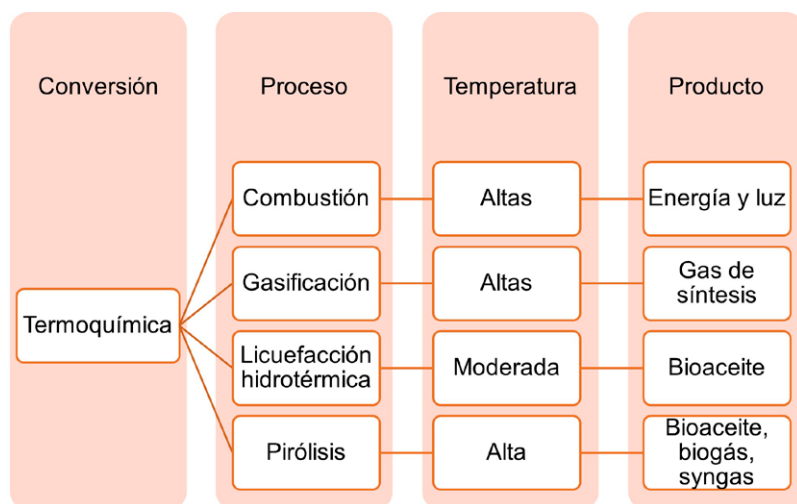


Figura 1. Procesos termoquímicos para el aprovechamiento de biomasa.

Ejemplos de estos procesos termoquímicos son la combustión, la gasificación, la licuefacción hidrotérmica y la pirólisis. Estos métodos aprovechan altas temperaturas en ausencia o presencia limitada de oxígeno (Vilca *et al.*, 2010).

Es importante mencionar que todas estas rutas termoquímicas difieren en temperaturas de operación, aplicación de presión, uso de catalizadores, y en si el material necesita estar seco o no.

La conversión de biomasa sólida en biocombustibles líquidos y gaseosos representa una motivación importante en el área de las energías renovables, y se puede lograr a través de diferentes procesos de transformación físicos, bioquímicos o termoquímicos (Basu, 2010).

La ruta física se refiere a procesos que implican cambios en la estructura de la biomasa en lugar de reacciones químicas (es decir, de composición), y puede incluir métodos mecánicos como la trituración o el prensado, para obtener productos útiles o facilitar los procesos químicos necesarios para la transformación de biomasa en biocombustibles (Bridgwater, 2012).

La ruta bioquímica implica procesos que utilizan microorganismos, enzimas y otros componentes biológicos para descomponer la biomasa y generar productos químicos o biocombustibles; esta es una ruta un poco más lenta que las otras, pero no requiere de mucha energía externa (Basu, 2010).

En la conversión termoquímica se utiliza la aplicación de calor para transformar la biomasa en productos útiles (Figura 1) como biocombustibles u otros productos químicos; en esta ruta, toda la biomasa se convierte inicialmente en gases que luego se transforman en las sustancias químicas deseadas (o que se utilizan directamente como gas energético).

ENTONCES, LA PIRÓLISIS ES...

La palabra “pirólisis” proviene del griego *Pyr*, que significa fuego, y *lysis*, que significa descomposición. En conjunto, la pirólisis se refiere al proceso de descomposición química de un material mediante la aplicación de calor, ya sea en ausencia total de oxígeno o con un suministro limitado de este, de manera que no permita alcanzar la combustión o la gasificación en un grado apreciable. Durante la pirólisis, las moléculas grandes y complejas de carbohidratos (como la celulosa) que se encuentran en la biomasa, se descomponen en moléculas relativamente más pequeñas y simples, en forma de gas, líquido o carbón (Figura 2) (Bridgwater, 2012).

La materia orgánica de la biomasa, más la aplicación de calor, produce tres productos principales: el bioaceite, que corresponde a la parte líquida; syngas, correspondiente a la parte gaseosa; y bio-carbón, correspondiente a la parte sólida.

EXPLORANDO LA MATERIA PRIMA

La pirólisis puede utilizar diversas fuentes de materia prima, principalmente materiales orgánicos que contienen mucho carbono. Entre las principales materias primas encontramos:

1. Biomasa residual: como subproductos agrícolas y forestales.

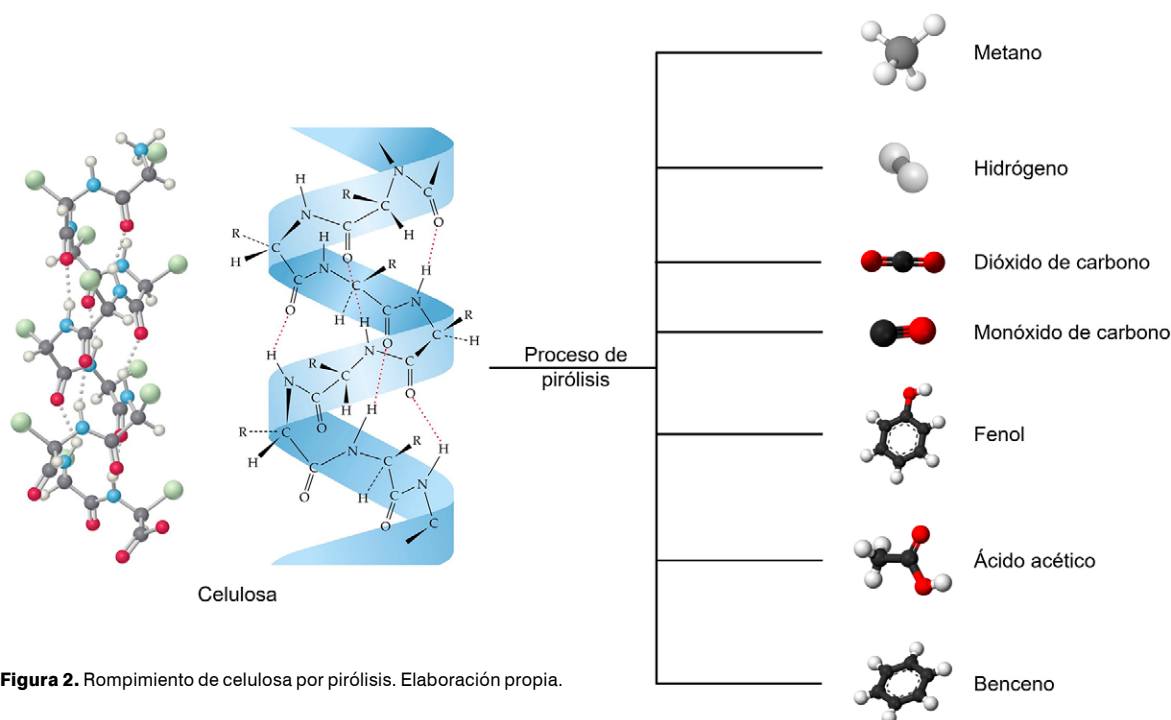


Figura 2. Rompimiento de celulosa por pirólisis. Elaboración propia.

2. Estiércol animal.
3. Residuos biológicos industriales.
4. Organismos marinos y acuáticos.

La versatilidad de la pirólisis radica en su capacidad para procesar una amplia variedad de materiales orgánicos (incluso inorgánicos), convirtiéndolos en productos útiles. Esto no solo contribuye a la gestión sostenible de residuos, sino que también les da valor agregado a estos, ya que puede generar productos valiosos y energía a partir de fuentes que usualmente se consideran desechos, mismos que si no se tratan de manera adecuada pueden representar problemas ambientales (Kataki *et al.*, 2018).

TEMPERATURA O TIEMPO, ESA ES LA CUESTIÓN

Esta tecnología se clasifica según la temperatura utilizada y la velocidad a la que esta se alcanza. Los principales tipos de pirólisis son: lenta, rápida e instantánea.

La pirólisis lenta o convencional se usa principalmente para producción de biocarbón, es la forma más antigua de pirólisis. La biomasa se calienta lentamente en ausencia de oxígeno hasta alcanzar una temperatura relativamente baja por un periodo

prolongado de tiempo. La pirólisis lenta ocurre a una temperatura en un rango de 300 a 500 °C, una velocidad de calentamiento de 5 a 7 °C/min y con un tiempo de residencia que puede ser de horas o incluso días, dependiendo las características de la biomasa inicial (Mejía-Madriral & Upegui-Sosa, 2022).

La pirólisis rápida tiene como objetivo principal maximizar la producción de líquido o bioaceite. La biomasa se calienta tan rápidamente que alcanza la temperatura máxima antes de descomponerse. Las características importantes que ayudan a aumentar el rendimiento de bioaceite son: velocidad de calentamiento muy alta, temperatura de reacción dentro de su rango, tiempo de residencia corto del vapor en el reactor y enfriamiento rápido del gas de síntesis. La pirólisis rápida ocurre a temperaturas en un rango entre 400 y 800 °C, una velocidad de calentamiento de 300 a 800 °C/min y con un tiempo de residencia menor a 2 segundos (Bridgwater *et al.*, 1999).

En la pirólisis instantánea, la biomasa se calienta extremadamente rápido, el gas (condensable y no condensable) sale del pirolizador en un periodo

muy corto de tiempo; al enfriarse, el vapor condensable se condensa en un combustible líquido. Con esto se aumenta el rendimiento líquido al tiempo que reduce la producción de carbón.

La pirólisis instantánea ocurre a temperaturas entre 700 y 1000 °C, una velocidad de calentamiento de 800 a 1000 °C/min y un tiempo de residencia muy bajo, menor a 0.5 segundos. Como producto principal obtenemos syngas y bioaceite (Mejía-Madrigal y Upegui-Sosa, 2022).

PRINCIPALES PRODUCTOS DE LA PIRÓLISIS

Durante el proceso de pirólisis se obtienen tres principales productos: el biocarbón, syngas o gas de síntesis y bioaceite. Las cantidades relativas de estos productos dependen de varios factores, incluida la velocidad de calentamiento y la temperatura final alcanzada, además del tipo de biomasa que se utilice (Kataki *et al.*, 2018).

El syngas (gas natural sintético o gas de síntesis) generalmente está compuesto de metano, monóxido y dióxido de carbono e hidrógeno; se forma por gasificación, que es un proceso altamente endotérmico y requiere altas temperaturas por tiempo prolongado. La biomasa que favorece la producción de syngas incluye materiales orgánicos como madera, residuos agrícolas, cáscaras de nueces y residuos de cultivos (Vilca *et al.*, 2022).

El biocarbón es un compuesto rico en carbono producido a partir de biomasa calentada a una temperatura entre 300 y 1000 °C en condiciones de poco oxígeno. Puede ser obtenido a través de procesos como la torrefacción seca, la carbonización hidrotermal y la pirólisis lenta. Está compuesto de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y cenizas. La producción de biocarbón se beneficia de biomasa rica en carbono y con bajos niveles de humedad, es decir, materiales como madera o residuos agrícolas (Mejía-Madrigal & Upegui-Sosa, 2022; Vilca *et al.*, 2022).

El bioaceite es un líquido que tiene cierta mezcla de compuestos, principalmente hidrocarburos

complejos con grandes cantidades de oxígeno y agua, obtenidos de la condensación de vapores producidos por pirólisis. El bioaceite es la motivación principal de la pirólisis para combustible. La producción de bioaceite se favorece utilizando biomasa rica en lípidos y aceites. Fuentes comunes de biomasa incluyen microalgas, plantas oleaginosas como la *jatropha*, colza o soya, así como residuos grasos y aceites de cocina usados (Hasan *et al.*, 2021).

REACTORES EN ACCIÓN

Actualmente se utilizan varios tipos de reactores de pirólisis para la producción de syngas, biocarbón y bioaceite, como los reactores de lecho fijo, de lecho fluidizado (burbujeante y circulante), de horno rotatorio, ablativos y de tornillo sin fin (barrena). Para que el proceso de pirólisis sea eficiente, el reactor debe garantizar una elevada transferencia de calor a la materia prima y un corto tiempo de residencia, es por ello que el más utilizado es el reactor de lecho fluidizado de tipo burbujeante (Figura 3) (Grycová *et al.*, 2016; Vilca *et al.*, 2022).

Los reactores de lecho fluidizado son muy eficaces debido a la naturaleza continua de la alimentación de la materia prima, lo que permite una buena producción de syngas, biocarbón y bioaceite. En este tipo de reactor, la biomasa se introduce en una cámara de pirólisis mediante sólidos calientes que garanticen una alta transferencia de calor a la materia prima hasta la temperatura de pirólisis, en la que comienza su descomposición. Los vapores condensables y no condensables liberados abandonan la cámara, mientras que el biocarbón sólido producido permanece una parte en la cámara y la otra en el gas (Hasan *et al.*, 2021).

Por otro lado, el gas se separa del carbón y se enfría con agua en la parte baja del reactor. El vapor se condensa como bioaceite o aceite de pirólisis; los gases no condensables salen de la cámara como gas de síntesis, que es otro producto de interés. Como este gas está libre de oxígeno, parte de él puede reciclarse como portador de calor a la cámara de pirólisis.

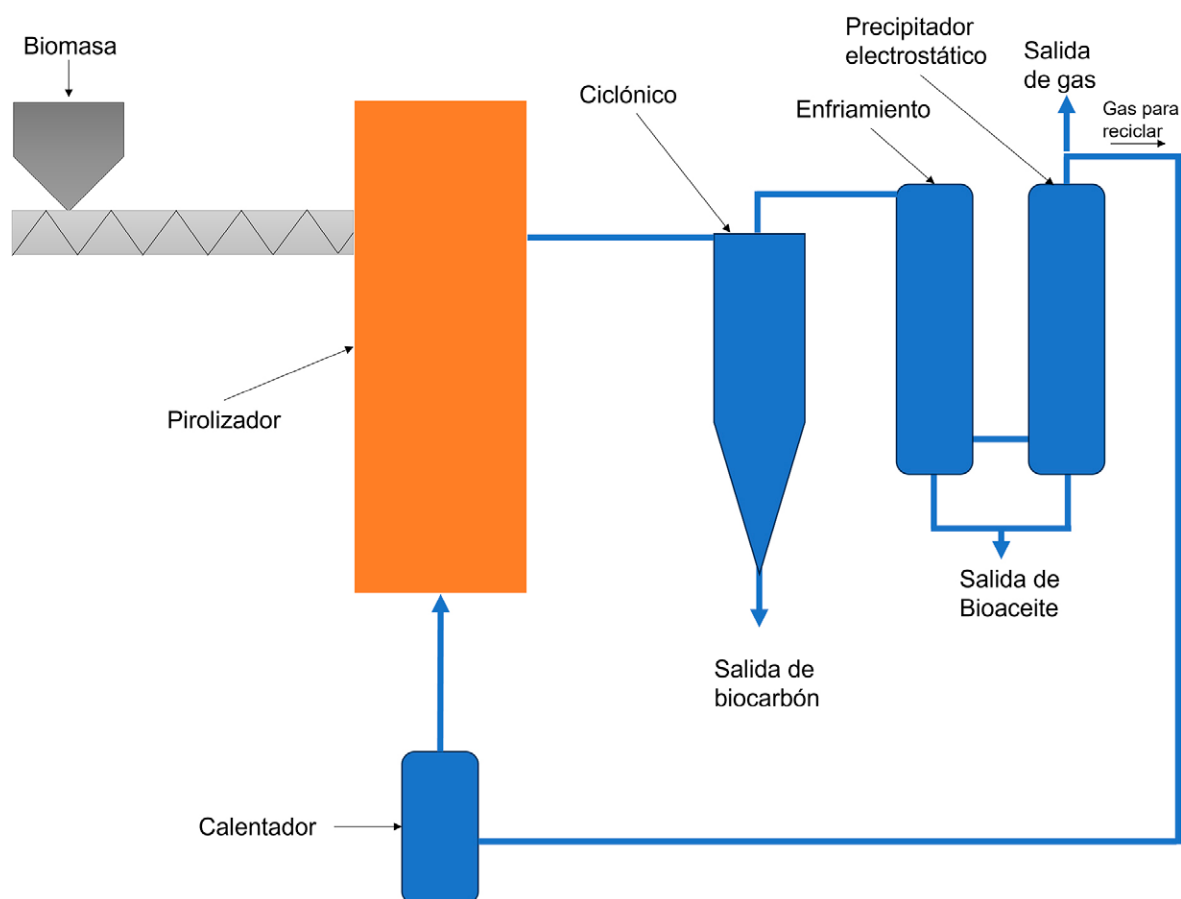


Figura 3. Diagrama de reactor de lecho fluidizado. Elaboración propia.

De manera similar, el carbón sólido puede recolectarse como producto comercial o quemarse en una cámara separada para producir el calor necesario para la pirólisis (Kataki *et al.*, 2018; Hasan *et al.*, 2021).

CONCLUSIÓN

El proceso de pirólisis se realiza en tres etapas; la primera es la dosificación y alimentación de la materia prima en el reactor, después ocurre la transformación de la masa orgánica en productos útiles, y finalmente, la obtención y separación de los productos de interés: syngas, bioaceite y biocarbón. La pirólisis emerge como una valiosa herramienta para la gestión sostenible de residuos, al convertir desechos orgánicos que tienen un impacto ambiental negativo, en recursos valiosos.

Por otro lado, ayuda a la producción de syngas y aceites pirolíticos que pueden utilizarse como

fuentes de energía. Esto no solo diversifica la matriz energética, sino que también reduce la dependencia de combustibles fósiles, al tiempo que contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero al evitar la descomposición anaeróbica de los residuos, por lo que representa una alternativa más limpia.

Comparada con algunos métodos tradicionales de eliminación de residuos, la pirólisis destaca por tener un menor impacto ambiental al ofrecer una alternativa más eficiente y sostenible.

Aunque la tecnología de pirólisis aún no ha sido ampliamente adoptada en nuestro país, su potencial futuro para el desarrollo en México es innegable. La pirólisis no solo ofrece soluciones efectivas para la gestión de residuos, sino que también representa una oportunidad para avanzar hacia prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.



© José Kuri Breña. *Durmiendo*. Escultura, bronce a la cera perdida, sfp.

REFERENCIAS

- Basu P. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis. Practical Design. USA. Elsevier Inc.
- Bridgewater AV, Meier D, Radlein D. (1999) An overview of fast pyrolysis of biomass. *Organic geochemistry*. 30(12): 1479-1493.
- Bridgewater AV. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*. 38: 68-94.
- Grycová B, Koutník I, Pryszcz A. (2016). Pyrolysis process for the treatment of food waste. *Bioresource Technology*. 218: 1203-1207.
- Hasan MM, Rasul MG, Khan MMK, Ashwath N, Jahirul MI. (2021). Energy recovery from municipal solid waste using pyrolysis technology: A review on current status and developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 145: 111073.
- Kataki R, Bordoloi NJ, Saikia R, Sut D, Narzari R, Gogoi L and Bhuyan N (2018) Waste valorization to fuel and chemicals through pyrolysis: technology, feedstock, products, and economic analysis. In: Singhania RR et al., *Waste to wealth, energy, environment, and sustainability* (pp 477-514). Springer Nature Singapore Pte. Ltd.
- Mejia-Madrigal SA y Upegui-Sosa SA. (2022). La pirólisis y otros métodos para el aprovechamiento de residuos de neumáticos como fuente de energía para la industria. Una revisión. *Cuaderno Activa* 13(1):41-60.
- Vilca K, Rodríguez S, Atarama U, Cueva C, Concha WJ, Atausupa MA y Gosgot W (2022). Pirólisis: una revisión de conceptos y aplicaciones en la gestión de residuos sólidos. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable* 6(1):43-56.

Elizabeth Ibarra-Lizárraga
Maestría en Ciencias Aplicadas
Universidad Politécnica de Sinaloa

David Ulises Santos-Ballardo
Maestría en Ciencias Aplicadas
Universidad Politécnica de Sinaloa
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD)

Unidad Mazatlán
ulises.ballardo@ciad.mx

Lodos activados para el tratamiento del agua residual

Montserrat Suárez García
David García Mondragón

Las aguas residuales producidas en los hogares, la agricultura y la industria repercuten negativamente en los recursos hídricos del planeta, debido a la falta de tratamiento o a procesos ineficientes, lo que provoca que sean devueltas al ambiente sin haber pasado por un proceso de purificación adecuado (Khan *et al.*, 2022).

El agua tratada debe tener la menor concentración de materiales contaminantes para regresarla al ambiente o, de ser posible, ser reutilizada y aprovechada en otras actividades. Para que esto ocurra, debe seguirse una serie de procesos tanto mecánicos como biológicos que convierten el agua residual en agua reutilizable, sin contaminantes orgánicos o inorgánicos (Kim *et al.*, 2019; Khan *et al.*, 2022).

Para abordar esta problemática se han desarrollado diversos métodos para el tratamiento de aguas residuales; la utilización de los lodos activados es uno de los procesos más sencillos y ampliamente aplicados.

Su uso tiene como beneficio la reducción de contaminantes en el agua, lo cual previene la propagación de microorganismos patógenos y bacterias que son focos de enfermedades en la población, además de conservar la vida acuática, pues los nutrientes ayudan a proliferar algas y eutrofizan el ambiente causando la muerte de los peces (Rodríguez *et al.*, 2016).

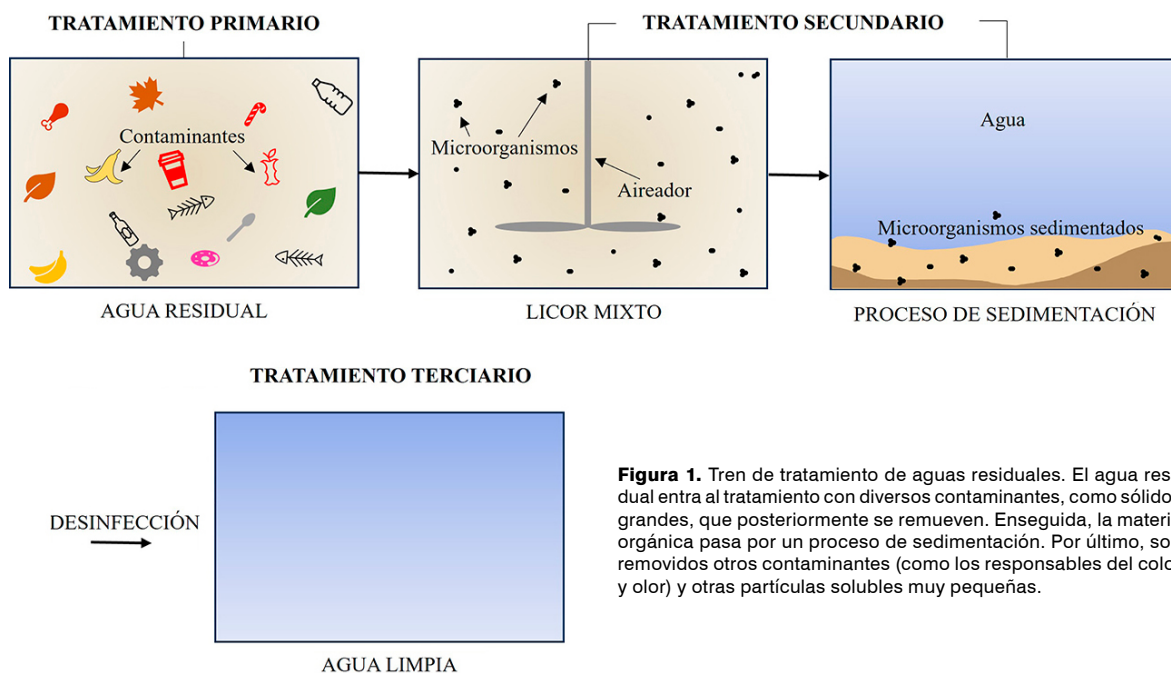


Figura 1. Tren de tratamiento de aguas residuales. El agua residual entra al tratamiento con diversos contaminantes, como sólidos grandes, que posteriormente se remueven. Enseguida, la materia orgánica pasa por un proceso de sedimentación. Por último, son removidos otros contaminantes (como los responsables del color y olor) y otras partículas solubles muy pequeñas.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El proceso incluye al menos tres etapas. La primera incluye métodos físicos de depuración mediante los cuales se realiza la separación de partículas grandes y no disueltas en el agua, así como de aceites y grasas. La segunda es un tratamiento químico o biológico en biorreactores con lodos activados, donde se utilizan microorganismos en un proceso aeróbico para reducir la carga de materia orgánica presente. Finalmente, en la tercera, el objetivo es limpiar el agua de componentes disueltos como metales pesados, minerales, nitrógeno y fósforo, por mencionar algunos, así como la eliminación de patógenos (Figura 1) (Begmatov *et al.*, 2022).

La segunda etapa tiene como función principal la eliminación de nutrientes y materia orgánica presentes, causantes en gran medida del color y olor del agua residual.

Este tratamiento se lleva a cabo mediante una mezcla en un sistema conocido como reactor biológico, al cual llega el agua residual que se encuentra en constante agitación con los lodos activados durante un tiempo determinado, lo que garantiza un ambiente rico en oxígeno y con las condiciones

necesarias para el establecimiento de colonias de bacterias, hongos y protozoos encargadas de reducir la carga de materia orgánica. Después, mediante sedimentación, la mezcla se separa; una parte de las colonias sedimentadas retornan al reactor biológico, y otra parte se retira del sistema como biosólidos o lodos estabilizados (Rezai y Allahkarami, 2021).

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La primera planta de tratamiento de agua fue construida en 1923, a partir del trabajo publicado por Arden y Locket sobre lodos activados. Desde esa fecha, numerosos procedimientos fueron desarrollados en países de Europa como Alemania (tanques Imhoff; biodiscos), Francia (la compañía OTV desarrolla los filtros biológicos aireados y patenta Biostyr) y Holanda (la compañía STOWA patenta el proceso SHARON), entre otras (González, 2011).

No obstante, existen diversos desarrollos y métodos propuestos con versatilidad para el tratamiento de aguas residuales, entre los que podemos mencionar el uso de energía solar mediante la transferencia de calor a un fluido; sin embargo, se requiere de sistemas de captación grandes, así como mayor tiempo

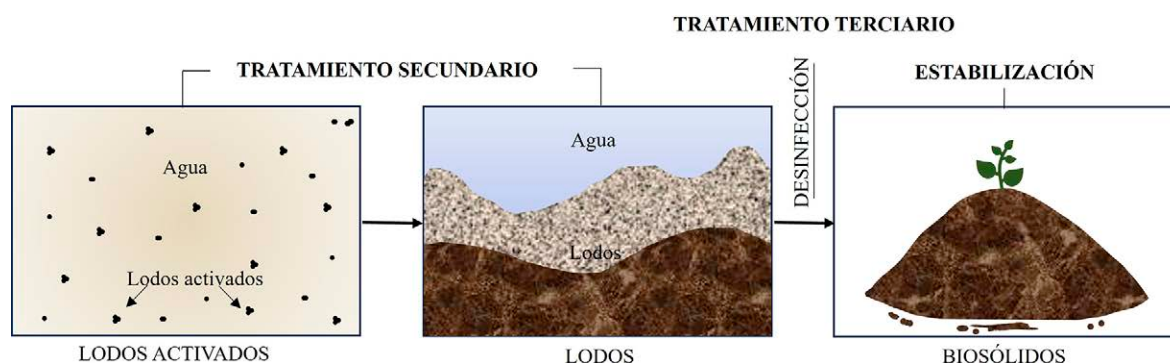


Figura 2. Cambios físicos de los lodos en los diferentes tratamientos. Los lodos en su fase activa necesitan de una buena mezcla y de oxígeno para poder encontrar la materia orgánica contaminante, se alimentan de esta y, después de un tiempo, se separan por sedimentación; entonces, el subproducto, que es un lodo, pasa por otro tratamiento de estabilización para generar un biosólido amigable con el ambiente.

de retención del agua. Otro método que, además, es económico, emplea plantas acuáticas que actúan como filtros naturales, aunque el proceso es largo y se limita a la profundidad de penetración de las raíces, por lo que las plantas retienen contaminantes (como metales pesados) que posteriormente las enferman.

¿QUÉ SON LOS LODOS ACTIVADOS Y CÓMO ACTÚAN?

Los lodos son producidos en aguas residuales sedimentadas en tanques de aireación; el término “activo” implica que están repletos de bacterias, hongos y protozoos que se alimentan de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Este producto es mejor conocido como licor mixto, y acelera la descomposición de los residuos en las aguas residuales en tratamiento. Después de algún tiempo se permite que el lodo, por efecto de su densidad, sedimente, y se desecha o se reutiliza según se necesite y de acuerdo con el tiempo que lleven recirculándose; el agua restante continúa su tratamiento (Kerri, 1998). Cabe mencionar que su composición biológica está determinada por condiciones operativas, tales como las características de los afluentes, el desempeño de las instalaciones, la demanda química de oxígeno y el tiempo de suspensión de la materia, entre otros (Kim *et al.*, 2019).

Los lodos activados favorecen la desnitrificación del agua mediante la oxidación del amoníaco a nitrato y, finalmente, a nitrato; el tratamiento depende de las concentraciones absolutas de microorganismos de acuerdo con la materia orgánica presente

(Begmatov *et al.*, 2022). Se remueve materia orgánica de aguas residuales de distintas procedencias, como las industriales, municipales y de la agricultura, y lo hace con una alta eficiencia de purificación y robustez para asegurar la inocuidad de la materia orgánica (Lambert *et al.*, 2022).

Sin embargo, es importante mantener al margen algunos parámetros, como el pH, para el manejo seguro de los lodos, pues pueden interferir en la solubilidad de algunos metales como zinc, plomo, arsénico y mercurio, lo cual causa efectos negativos en el suelo y repercusiones en la salud de la población (Chicón, 2003).

¿QUÉ PASA DESPUÉS CON LOS LODOS ACTIVADOS?

Como subproducto del tratamiento de aguas residuales se generan lodos y biosólidos; los primeros contienen materia orgánica e inorgánica, así como compuestos tóxicos y patógenos; para su manejo adecuado, se someten a procesos de deshidratación y estabilización que permiten la reducción de patógenos y la eliminación de olores, lo que minimiza los riesgos para su disposición final como biosólidos que cumplen con estándares de seguridad y calidad.

Los biosólidos, debido a que son producidos en gran cantidad en todo el mundo, pueden ser aprovechados como fertilizante natural o mejoradores del suelo, y ayudar así al crecimiento de plantas,

árboles y cultivos. Este doble uso lo vuelve un sistema sostenible y generoso con el ambiente, pues equilibra la economía, la preservación del ambiente y el bienestar social.

LOS LODOS COMO UN PROCESO DE METAMORFOSIS

Los lodos son un elemento clave en el tratamiento de aguas residuales, aunque su consistencia es diferente en cada proceso (Figura 2).

En su fase activa, los lodos tienen consistencia líquida y se componen de 93 a 97 % de agua, siendo el resto materia orgánica e inorgánica; forman parte del tratamiento secundario y su función es la eliminación de la materia orgánica del agua residual. El lodo obtenido como subproducto del tratamiento secundario es de consistencia viscosa, ya que el volumen de agua es menor; de él, una parte se reincorpora al tratamiento y el resto es llevado a un proceso de depuración para su estabilización, cuyo producto es un biosólido rico en nutrientes y libre de agua.

La reutilización de materiales orgánicos, ricos en nutrientes como nitrógeno y fósforo contenidos en los biosólidos, tiene un gran impacto por su aplicación en suelos agrícolas y forestales para su restauración, y como fertilizante representa una alternativa importante y de menor efecto ambiental que puede ser aprovechada para el desarrollo de las plantas (Salcedo *et al.*, 2007).

REFERENCIAS

- Begmatov S, Dorofeev A, Kadnikov V, Beletsky A, Pimenov N, Ravin N and Mardanov A (2022). The structure of microbial communities of activated sludge of large-scale wastewater treatment plants in the city of Moscow. *Scientific Reports* 12:1-3458.
- Chicón L (2003). Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos. *Spin Cero* 98:57-78.
- González S (2011). *Desarrollos tecnológicos para el tratamiento y reúso eficiente de aguas residuales*. Coordinación de Ingeniería Ambiental, Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Kerri K (2004). *Operation of wastewater treatment plants: a field study training program*. Sacramento: California State University.

Khan T (2022). Environmental technology and wastewater treatment: strategies to achieve environmental sustainability. *Chemosphere* 286:1-131532.

Kim YK, Yoo K, Kim MS, Han I, Lee M, Kang BR, Lee TK and Park J (2019). The capacity of wastewater treatment plants drives bacterial community structure and its assembly. *Scientific Reports* 9:1-14809.

Lambert N, Van AP, Smets I, Appels L and Dewil R (2022). Performance assessment of ultrasonic sludge disintegration in activated sludge wastewater treatment plants under nutrient-deficient conditions. *Chemical Engineering Journal* 431:2-133979.

Rezaei B and Allahkarami E (2021). Chapter 2-Wastewater Treatment Processes Techniques, Technologies, Challenges Faced, and Alternative Solutions. En Karri RR, Ravindran G and Dehghani MH (Eds.), *Soft Computing Techniques in Solid Waste and Wastewater Management* (pp. 35-53). Elsevier.

Rodríguez M, García-Ubaque JP, Augusto C, Mejía Z y Alfonso C (2016). El análisis del ciclo de vida aplicado a las plantas de tratamiento de aguas residuales. *Ciencia y Sociedad* 41:616-636.

Salcedo PE, Vázquez AA, Krishnamurthy L, Zamora NF, Hernández ÁE y Rodríguez MR (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. *INCI* 32:2.

Montserrat Suárez García
David García Mondragón
Instituto Interamericano en Tecnología
y Ciencias del Agua
Universidad Autónoma del Estado de México
Campus Toluca
msuarezg413@alumno.uaemex.mx



© José Kuri Breña. Homero. Fibra de vidrio, 1990.

¿Es un sueño un sistema de alerta para mareas rojas?

Cotsikayala **Pacheco Ramírez**

Mi primer encuentro cercano con el mar y todas sus peculiaridades fue en 2007, cuando finalmente tomé la decisión de mudarme a Puerto Ángel, Oaxaca, para estudiar biología marina en la Universidad del Mar. Aprendí a distinguir los cambios que experimenta el mar a través de las estaciones del año, las tormentas, los huracanes, el estiaje, e incluso llegué a comprender el arduo trabajo de los pescadores ribereños. Durante esos años, descubrí que el color del mar puede cambiar a lo largo del tiempo y variar entre diferentes playas. Al vivir a pocos minutos del mar, se volvió fácil para mí identificar cuándo el olor del mar era diferente y cuándo cambiaba de color.

Los profesores de la universidad se referían a las manchas de color en el mar como “mareas rojas”, y explicaban que dicho color cambia según los componentes biológicos presentes en el agua. En particular, señalaban a las microalgas como las causantes de este cambio repentino. Aunque yo, inexperto en el tema, intentaba en vano ver dichas algas que nunca pude visualiz. Cuando ingresé al laboratorio de biología y utilicé un microscopio, por primera vez pude observar estas diminutas algas, moviéndose y viviendo con otras especies en comunidades en una sola gota de agua. A partir de ese día, observé incansablemente a través del microscopio, durante más de 4 años, un mundo que se ocultaba a simple vista, recordando las palabras que alguna vez leí en el libro *Cazadores de microbios*.

Después de vivir 12 años en la porción sur del Pacífico mexicano, llegué a comprender que las mareas rojas son conocidas para las comunidades. Cuando las playas se visten con este fenómeno, se convierten en el parque de diversiones para las prácticas de buceo durante el día, incluyendo pruebas de búsqueda y rescate, y por la noche ofrecen un espectáculo impresionante de bioluminiscencia que atrae tanto a buzos como a surfistas y pobladores. Pero nunca imaginé que en otras regiones del país, como en la bahía de La Paz, este mismo evento se considera nocivo para la salud y representa un riesgo para la economía.

Las mareas rojas, conocidas científicamente como florecimientos algales nocivos (FAN), son crecimientos de algas microscópicas con potencial nocivo. Estos eventos generan cambios en las propiedades ópticas del agua, reducen los niveles de oxígeno y dañan el tejido branquial de los peces, pudiendo ser nocivos para peces y mamíferos (Anderson, 1994). Los FAN tienen el potencial de impactar la pesca ribereña y la producción acuícola de la bahía de La Paz, además de representar un riesgo para la salud humana debido al consumo de especies contaminadas con toxinas. Esto puede tener un efecto negativo en la economía regional, ya que conlleva vedas en la extracción y comercialización de productos marinos, como Núñez-Vázquez *et al.*, (2016) han documentado.

La bahía de La Paz está localizada al suroeste del Golfo de California. Desempeña un papel esencial como refugio para la conservación del tiburón ballena, una especie emblemática y en peligro de extinción. Además, la bahía cuenta con dos sitios considerados en la Convención sobre los Humedales Ramsar de importancia internacional: Humedales Mogote Ensenada y Balandra. También alberga pesquerías que son de interés económico, se encuentran especies comerciales como el huachinango, el pargo lunarejo, la cabrilla, el jurel y la pierna.

En general, la Bahía de La Paz es el escenario de importantes desarrollos turísticos, pesquerías

y maricultura y es un refugio natural de especies. Los FAN se han convertido en un problema significativo a nivel regional, de acuerdo con la revisión histórica de FAN y considerando a las empresas acuicultoras locales. Por lo tanto, es importante proteger y cuidar este ecosistema para asegurar un crecimiento sostenible.

LA RECETA IDEAL NO EXISTE

En la década de 1970, renombrados expertos en FAN a nivel mundial como Anderson, Hallegraeff, Smayda y otros autores contemporáneos, reconocían la importancia en su estudio. Desarrollaron la hipótesis de que los FAN aumentan en proporción al crecimiento poblacional, especialmente en zonas costeras (Heisler *et al.*, 2008). Hoy en día sabemos que el aumento de los FAN en regiones costeras se debe principalmente a la eutrofización, que implica un incremento desigual de los niveles de material orgánico e inorgánico en el agua (Anderson *et al.*, 2015).

En este contexto, México ha enfrentado problemas de FAN principalmente en zonas costeras densamente pobladas desde 1979, cuando se registró el primer caso documentado de impacto en la salud pública. Este incidente ocurrió en Mazatlán, Sinaloa, donde 19 personas resultaron intoxicadas por consumo de moluscos, según lo señalado por el sistema de alerta FAN (SiAT: <https://siat-cicese.mx/>). Baja California Sur, seguido de Colima y Sinaloa, son los estados más afectados en este problema de salud pública, de acuerdo con los datos recopilados por la base de datos de FAN (<http://haedat.iode.org/>) (Figura 1).

Las primeras menciones de FAN en la Bahía de La Paz datan de la década de 1970. Sin embargo, no fue sino hasta agosto de 1984 que se reportó el primer evento de mortandad de peces en la Ensenada de La Paz (Gárate-Lizárraga y colaboradores 2001). A partir de 1997, el estudio de los FAN se intensificó con reportes anuales en la bahía y regiones aledañas (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2016).

En 2023 se inició un programa piloto del sistema de alerta temprana de FAN en Baja California (SiAT). El esfuerzo estatal y la experiencia acumulada de

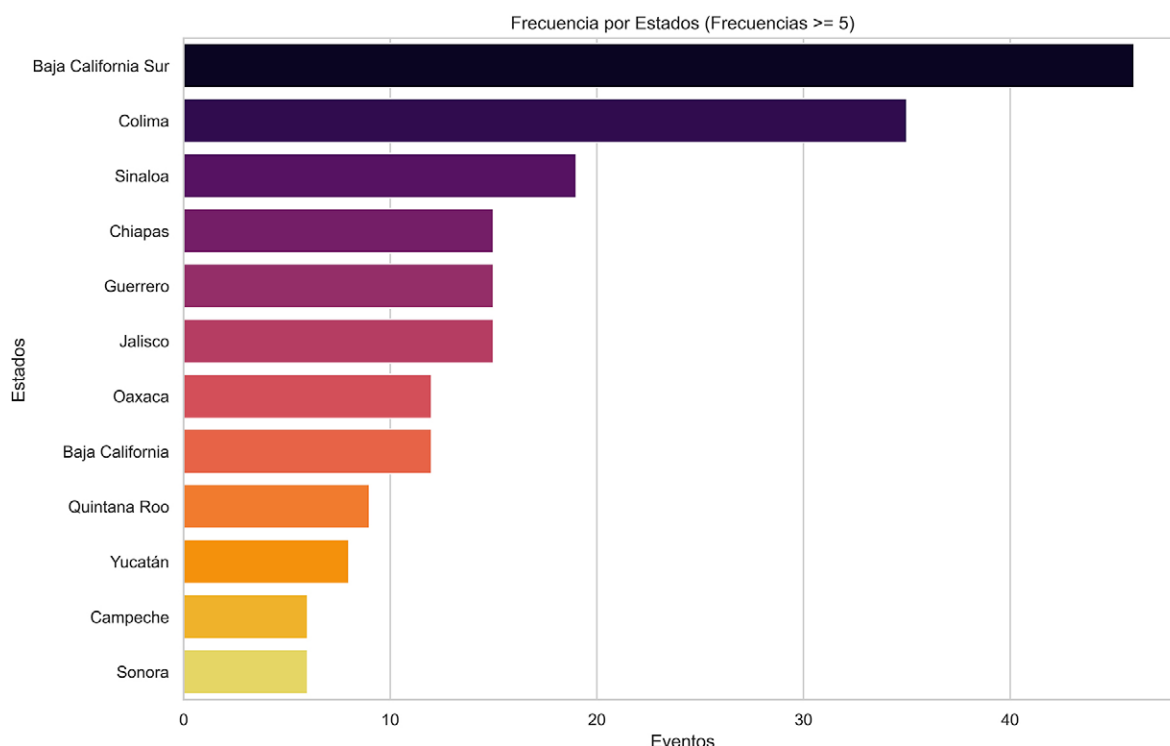


Figura 1. Frecuencia de FAN por estados con mayor incidencia. En el eje vertical se muestran los estados y en el eje horizontal se indica el número de eventos registrados.

científicos con más de 20 años de trayectoria en la región dieron frutos, convirtiéndose en recursos invaluable para enfrentar este desafío. En sus inicios, el SiAT atenderá de manera prioritaria las zonas de Ensenada-San Quintín, en el Pacífico mexicano, así como las de San Felipe y bahía de La Paz, en el Golfo de California.

La presencia de investigadores especializados en FAN resulta fundamental, ya que contribuyen activamente al desarrollo del SiAT en La Paz. En esta labor colaboran centros de investigaciones públicas, instituciones, prestadores de servicio y empresas acuicultoras. El enfoque de su trabajo se centra en monitorear sitios cercanos a La Paz para identificar especies causantes de FAN, toxinas diarreicas y paralizantes, así como pigmentos asociados.

Aunque la creación de este sistema representa una gran noticia y ha logrado un alto nivel de colaboración y madurez en la porción norte de la península, todavía queda un largo camino por recorrer en la porción sur. Sin embargo, este avance no solo contribuirá significativamente a preservar la salud del ecosistema local, sino que también traerá

beneficios a las comunidades que dependen de sus recursos marinos.

UN GRANITO DE ARENA

El SiAT ha marcado el camino para establecer un sistema con características específicas para los usuarios de la bahía de La Paz, siguiendo el ejemplo de Florida en Estados Unidos.

Este último cuenta con un sistema de alerta que se estructura en cuatro pilares fundamentales para abordar los FAN: Detección; Monitoreo y predicción; Evaluación del impacto económico y social; Prevención y control (<https://coastalscience.noaa.gov/science-areas/habs/>).

Como parte del primer pilar, que es la detección, se está llevando a cabo un estudio en el laboratorio de sensores remotos y vehículos aéreos no tripulados (SERVANT). Este estudio se centra en desarrollar un sistema de alerta basado en sensores remotos para detectar FAN en etapas tempranas.

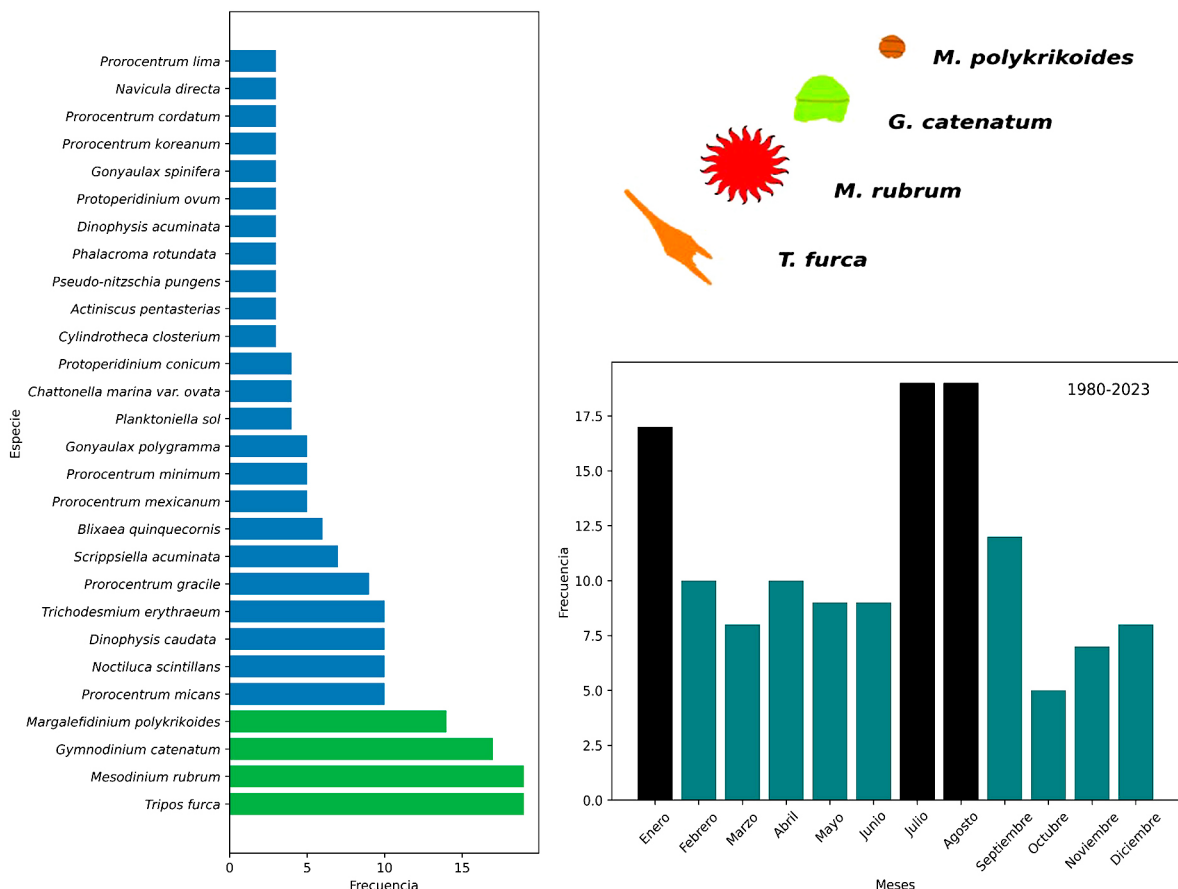


Figura 2. En el lado izquierdo se observan las 28 especies con mayor frecuencia de 1980 a 2023. Las barras en color verde son las especies con frecuencia mayor a 10 eventos. En el lado derecho, el promedio de todos los meses de 1980 a 2023. Las barras en color negro son los meses con mayor frecuencia de FAN. Datos recabados en la bibliografía, de registros oficiales COFEPRIS y análisis de laboratorio de empresas locales.

El objetivo principal es identificar las firmas espectrales de las especies responsables de los FAN y caracterizar la variabilidad ambiental para desarrollar algoritmos predictivos.

Dentro de esta metodología, como antiguamente se utilizaban las lupas para ver con gran detalle los mapas, se consideró utilizar una cámara con múltiples bandas espectrales acoplada a un dron para analizar las propiedades ópticas del mar. Porque las alteraciones de las propiedades ópticas del agua conllevan un cambio de coloración del mar, pero este cambio a veces es difícil detectar para el ojo humano.

El propósito es desarrollar una biblioteca de firmas espectrales que facilite el monitoreo del color del mar y optimizar los recursos disponibles.

Para construir el segundo pilar de las estrategias de monitoreo, es crucial desarrollar una revisión exhaustiva de todos los eventos históricos y de las especies responsables, ya que constituye la base para desarrollar detecciones específicas y dirigidas. La revisión de los eventos históricos ha develado dos aspectos claves: por un lado, que las especies persistentes son: *Tripos furca*, *Mesodinium rubrum*, *Gymnodinium catenatum* y *Margalefidinium polykrikoides*, y por el otro lado, dos patrones temporales de ocurrencia: el primero durante verano, con una concentración significativa en julio-agosto, y el segundo, en menor medida, en invierno, específicamente en enero (Figura 2).

Además, el muestreo sinóptico proporcionado por los sensores remotos aumentará significativamente la eficiencia del monitoreo de FAN en la región (Blondeau-Patissier *et al.*, 2014, Klemas 2011).



© José Kuri Breña. *Ensimismada*. Mármol negro Monterrey, 1976.



© José Kuri Breña. *Mestiza III*. Mármol negro Monterrey, 1977.

Este segundo pilar se complementa en gran medida con el muestreo de las condiciones oceanográficas. Este enfoque multidisciplinario para detectar FAN involucra a usuarios, empresas acuícolas y expertos en fitoplancton, dado que es un problema complejo en un mundo cambiante, como afirma Anderson (2005).

Aquí termina un sueño que no ha llegado a su estado más profundo, pero que se está convirtiendo en realidad para muchos científicos. Sin embargo, el camino por delante implica la construcción de los pilares restantes que integran un sistema de alerta temprana de FAN: predicción; evaluación del impacto económico y social; prevención y control. Estos desafíos marcarán el rumbo de los próximos años para los expertos en este campo.

REFERENCIAS

- Anderson CR, Moore SK, Tomlinson MC, Silke J and Cusack CK (2015). Living with Harmful Algal Blooms in a Changing World: Strategies for Modeling and Mitigating Their Effects in Coastal Marine Ecosystems. En Shroder JF, Ellis JT y Sherman DJ. (Eds.), *Coastal and Marine Hazards, Risks, and Disasters* (pp: 495-561). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396483-0.00017-0>.
- Anderson DM (1994). Red Tides. *Scientific American* 271:52-58.
- Anderson DM (2005). The ecology and oceanography of harmful algal blooms multidisciplinary approaches to research and management. *IOC Technical Series* 74, UNESCO.
- Blondeau-Patissier D, Gower FR, Dekker AG, Phinn SR and Brando VE (2014). A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans. *Progress in Oceanography* 123:123-144.
- Gárate-Lizárraga I, Hernández-Orozco ML, Band-Schmidt C and Serrano-Casillas G (2001). Red tides along the coasts of Baja California Sur, México (1984 to 2001). *Oceánides* 16(2):127-134.
- Gárate-Lizárraga I, Verdugo-Díaz G. y Okolodkov YB (2016). Florecimientos algales nocivos en la costa occidental de Baja California Sur. En García-Mendoza E, Quijano-Scheggia SI, Olivos-Ortiz A y Núñez-Vázquez EJ (Eds.), *Florecimientos Algales Nocivos en México* (pp: 45-59). CICESE Ensenada, México.
- Heisler J, Gilbert PM, Burkholder JM, Anderson DM, Cochlan W, Dennison WC, Dortch A, Gobler CJ, Heil CA, Humphries E, Lewitus A, Magnien R, Marshall HG, Sellner K, Stockwell DA, Stoecker DK and Suddleson M (2008). Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. *Harmful Algae* 8(1):3-13.
- Klemas V (2011). Remote sensing techniques for studying coastal ecosystems: an overview. *Journal of Coastal Research* 27(1):2-17.
- Núñez-Vázquez EJ, Band-Schmidt CJ, Hernández-Sandoval FE, Bustillos-Guzmán, JJ, López-Cortés DJ, Cordero-Tapia A, Heredia-Tapia A, García-Mendoza E, Peña-Manjarréz JL, Ruíz de la Torre MC y Medina-Elizalde J (2016). Impactos de los FAN en la salud pública y animal (silvestres y de cultivo) en el Golfo de California En García-Mendoza E, Quijano-Scheggia SI, Olivos-Ortiz A y Núñez-Vázquez EJ (Eds.), *Florecimientos Algales Nocivos en México* (pp: 197-201). CICESE Ensenada, México.

Cotsikayala Pacheco Ramírez
Centro de Investigación Científica y de Estudios
Superiores de Ensenada (CICESE)
Unidad La Paz
cotsikayala@cicese.edu.mx



© José Kuri Breña. *Ciudad dividida*. Escultura, bronce a la cera perdida, 1986.

Impresión 3D: innovación y sostenibilidad

Francisco Jacob **Ávila Camacho**
Leonardo Miguel **Moreno Villalba**

La impresión 3D es una tecnología que permite la creación de objetos tridimensionales mediante la adición de material capa por capa, siguiendo un diseño digital (Bai *et al.*, 2021). Esta tecnología, también conocida como fabricación aditiva, ha revolucionado el campo del diseño y la manufactura. La relevancia de la impresión 3D en el mundo actual es inmensa y abarca desde aplicaciones industriales hasta usos en el hogar. Esta técnica no solo ha permitido la producción de objetos complejos con gran precisión, sino que también ha abierto el camino para la personalización masiva y la reducción de costos y residuos (Hossain *et al.*, 2021). La impresión 3D se destaca por su versatilidad, ya que es capaz de trabajar con una amplia gama de materiales como plásticos, metales y, recientemente, tejidos biológicos. Esto ha llevado a su aplicación en sectores tan diversos como la medicina, la ingeniería aeroespacial y la construcción, entre otros.

Desde su concepción, la impresión 3D ha evolucionado significativamente. En sus inicios, era una tecnología cara y poco accesible, utilizada principalmente para la creación de modelos y prototipos en sectores industriales especializados. Sin embargo, con el paso del tiempo, la impresión 3D ha experimentado avances tanto en costos como en capacidades técnicas, y hoy en día se ha transformado en una herramienta fundamental para la creación

de prototipos en una gran variedad de industrias. Actualmente, los diseñadores y los ingenieros utilizan la impresión 3D para probar sus diseños de manera rápida, lo que permite una mayor flexibilidad y creatividad en el desarrollo de productos. Además, la capacidad de la impresión 3D para producir piezas complejas en una sola operación ha reducido significativamente los tiempos de producción y los costos asociados (Chadha *et al.*, 2022).

AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN 3D

La tecnología de impresión 3D abre las puertas para innovaciones en sectores como la medicina, la ingeniería aeroespacial y la automoción. Las estadísticas actuales muestran un aumento constante en la adopción de la impresión 3D, con un mercado global que se espera supere los 35 mil millones de dólares para 2024 (Bai *et al.*, 2021). Los estudios de caso en la industria automotriz, por ejemplo, demuestran cómo la impresión 3D ha acelerado el proceso de prototipado, permitiendo a las empresas probar y perfeccionar sus diseños con mayor eficiencia (D'Aveni, 2015).

Uno de los avances más destacados en el campo de la impresión 3D es el desarrollo de técnicas de impresión avanzadas, como la impresión 3D de metal y la bioimpresión. Estas técnicas están revolucionando la forma en que se construyen y se conceptualizan los prototipos (Bai *et al.*, 2021). En el campo de la medicina, por ejemplo, la bioimpresión 3D ha permitido la creación de tejidos y órganos para la investigación y, potencialmente, para trasplantes, abriendo nuevas fronteras en el tratamiento médico (Srinivasan *et al.*, 2021). En la industria aeroespacial, la impresión 3D de metal está permitiendo la producción de componentes más ligeros y resistentes, lo que resulta en aeronaves más eficientes y económicas. Estos avances no solo muestran la versatilidad de la impresión 3D en diferentes campos, también subrayan su papel crucial en el impulso de la innovación y el desarrollo tecnológico. La impresión 3D continúa

evolucionando, prometiendo transformar aún más cómo concebiremos y fabricaremos productos en el futuro cercano.

Otro de los avances más significativos es la mejora en la resolución y precisión de las impresoras 3D, lo que permite la creación de objetos con detalles mucho más finos que antes. Esto es especialmente importante en aplicaciones como la microfabricación, donde cada micrómetro cuenta. Además, la velocidad de impresión ha aumentado considerablemente, reduciendo los tiempos de espera para la creación de prototipos y productos finales. Otro avance importante es el desarrollo de software más sofisticados para el diseño y la simulación en 3D, lo que permite a los usuarios optimizar sus diseños para la impresión de manera más eficiente y con mejores resultados (Siliezar, 2022).

En cuanto a las nuevas impresoras 3D y nuevos materiales, hemos presenciado una expansión impresionante en ambos frentes. En el ámbito de las impresoras, los modelos más recientes ofrecen capacidades como la impresión multicolor y multimaterial, lo que permite una mayor flexibilidad y creatividad en el diseño de prototipos. Ejemplos destacados incluyen impresoras 3D capaces de trabajar con metales, cerámicas y diversos polímeros, que amplían las aplicaciones posibles en sectores como el aeroespacial, el automotriz y la biomedicina. En cuanto a materiales, ha habido un gran avance en el desarrollo de filamentos y resinas con propiedades mejoradas, como mayor resistencia, flexibilidad y capacidad de ser biocompatibles o biodegradables (Yan *et al.*, 2021). Estos nuevos materiales no solo amplían las posibilidades de lo que se puede imprimir, también abren nuevas vías para aplicaciones sostenibles y personalizadas.

Estos avances tecnológicos han tenido un impacto significativo en la calidad y eficiencia en la creación de prototipos. La mayor precisión y resolución de las impresoras 3D modernas permiten a los diseñadores y fabricantes producir prototipos que se acercan mucho más a los productos finales, tanto en estética como en funcionalidad (Chadha *et al.*, 2022). Esto es especialmente valioso en industrias donde los prototipos deben cumplir con

estándares muy estrictos, como en la aeroespacial y la medicina. Además, la capacidad de utilizar una variedad más amplia de materiales con propiedades específicas ha permitido la creación de prototipos que pueden someterse a pruebas más realistas, acelerando el proceso de desarrollo de productos (Yan *et al.*, 2021).

APLICACIONES DE LA IMPRESIÓN 3D EN DIVERSOS SECTORES

En la industria médica, la impresión 3D ha traído innovaciones revolucionarias, particularmente en la personalización de implantes y prótesis. Un caso de estudio destacado es la creación de implantes personalizados para cirugías ortopédicas y maxilofaciales (Safali *et al.*, 2023). Estos implantes, diseñados específicamente para adaptarse a la anatomía de cada paciente, han mejorado significativamente los resultados quirúrgicos y reducido los tiempos de recuperación. Además, la impresión 3D ha permitido el desarrollo de prótesis más accesibles y personalizadas, lo que ha mejorado la calidad de vida de muchos pacientes (Manero *et al.*, 2023). Otro avance notable es la bioimpresión, que implica la creación de estructuras biológicas como tejidos y órganos (Tibbetts, 2021). Aunque aún se encuentra en una etapa temprana, la bioimpresión promete revolucionar el campo de la medicina regenerativa y las pruebas de medicamentos con la impresión de tejidos y órganos orientados a la prueba de fármacos, lo que genera alternativas más eficientes y éticas a los métodos tradicionales (Tibbetts, 2021).

En el sector automotriz, la impresión 3D ha transformado el proceso de diseño y fabricación de vehículos. Un ejemplo destacado es el uso de la impresión 3D para prototipos rápidos de componentes automotrices, lo que permite a los ingenieros probar y modificar diseños con una rapidez y eficiencia sin precedentes. Además, algunas empresas automotrices están experimentando con la producción de piezas finales mediante impresión 3D, lo que podría llevar a una mayor personalización de los vehículos en el futuro. La impresión 3D también ha demostrado ser útil en la producción de piezas

ligeras pero resistentes (Walker, 2021), lo que es especialmente valioso para vehículos eléctricos y de alto rendimiento. Estos avances no solo reducen el tiempo y el costo asociados con la fabricación de vehículos, también abren nuevas posibilidades en términos de diseño y funcionalidad.

El sector aeroespacial es otro campo en el que la impresión 3D está teniendo un impacto significativo. Las empresas aeroespaciales utilizan la impresión 3D para producir componentes que son más ligeros y resistentes que los fabricados mediante métodos convencionales. Esto resulta en una reducción del peso de las aeronaves, lo que lleva a un menor consumo de combustible y, por ende, a una reducción de las emisiones de carbono.

Un caso notable es la fabricación de piezas de motor y componentes estructurales para satélites y vehículos espaciales (NASA, 2023). Estos componentes, a menudo fabricados en aleaciones metálicas complejas, demuestran las capacidades avanzadas de la impresión 3D en términos de precisión y resistencia a condiciones extremas. La impresión 3D también permite una mayor flexibilidad en el diseño, lo que es crucial en un sector en que cada gramo y cada milímetro cuenta. Estos ejemplos ilustran cómo la impresión 3D está desempeñando un papel fundamental en la evolución y optimización de la tecnología aeroespacial.

IMPACTO AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD

El impacto ambiental de la impresión 3D, cuando se compara con los métodos de fabricación tradicionales, presenta varios aspectos positivos (Chadha *et al.*, 2022). Uno de los beneficios más significativos es la reducción del desperdicio de material. La impresión 3D es un proceso de fabricación aditivo, lo que significa que construye objetos capa por capa, utilizando solo la cantidad necesaria de material. En contraste, los métodos tradicionales, como el mecanizado, son sustractivos y a menudo implican eliminar grandes partes de material para dar forma al producto final (Chadha *et al.*, 2022).

Nombre	Descripción	Dirección de Internet
Materiales de impresión 3D	Descripción de los principales materiales de impresión 3D más utilizados	https://intelligy.com/blog/2021/07/08/los-materiales-de-impresion-3d-mas-utilizados/
Recursos educativos	Recursos educativos libres para la impresión 3D en el aula	https://blog.cemebe.info/recursos-educativos-libres-para-la-impresion-3d-en-el-aula/
Modelado 3D	Herramientas para aprender modelado e impresión 3D	https://www.fundaciontelefonica.com/noticias/herramientas-modelado-impresion-3d/
UltiMaker Cura	Software de impresión 3D gratuito	https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura/

Tabla 1. Recursos de aprendizaje para impresión 3D.

Esta eficiencia en el uso de materiales no solo reduce los costos de producción, también minimiza el desperdicio, lo que es beneficioso para el medio ambiente. Otro aspecto que considerar es el consumo de energía. Si bien la impresión 3D puede ser más intensiva en energía por unidad de material procesado en comparación con ciertos procesos de fabricación tradicionales, su eficiencia general en la utilización del material puede resultar en un menor consumo de energía a lo largo del ciclo de vida del producto.

La impresión 3D contribuye de manera significativa a la sostenibilidad y la economía circular, un concepto aplicado al modelo de producción y consumo que en la práctica implica reducir los residuos al mínimo. La economía circular implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar o reciclar materiales o productos todas las veces que sea posible para extender el ciclo de vida de los productos (Cerdá & Khalilova, 2019). Uno de sus principales aportes es la capacidad de fabricar productos bajo demanda, lo que reduce la necesidad de grandes inventarios y el desperdicio asociado con productos no vendidos (Hossain, *et al.*, 2021).

Además, la impresión 3D permite la reparación y la personalización de piezas, lo que prolonga la vida útil de los productos y reduce la necesidad de reemplazarlos por completo.

Esto está en línea con los principios de la economía circular, en la que los recursos se mantienen en uso durante el mayor tiempo posible (Mikula *et al.*, 2021). La impresión 3D también abre puertas para el uso de materiales reciclados y reciclables. Existen esfuerzos en curso para desarrollar filamentos y resinas a partir de plásticos reciclados, lo que puede transformar los residuos en recursos valiosos para la fabricación de nuevos productos.

Además, la impresión 3D fomenta un enfoque de diseño para la desmontabilidad y el reciclaje. Los diseñadores pueden crear productos pensados para ser fácilmente desmontados y reciclados o reutilizados al final de su vida útil. Esto contrasta con muchos productos fabricados tradicionalmente, que a menudo son difíciles de descomponer en sus componentes para el reciclaje o la reutilización. La capacidad de producir piezas de repuesto específicas mediante impresión 3D también significa que los productos pueden ser reparados en lugar de desechados, lo que contribuye aún más a reducir los residuos.

Estas prácticas demuestran cómo la impresión 3D no solo es una herramienta para la innovación en la fabricación, también es un facilitador clave para adoptar prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Así, la impresión 3D tiene el potencial de desempeñar un papel importante en la transición hacia modelos de producción y consumo más sostenibles y circulares.

CONCLUSIONES

Mirando hacia el futuro, el potencial de la impresión 3D para impulsar la innovación parece ilimitado. Se espera que esta tecnología continúe evolucionando, ofreciendo mayores velocidades de impresión, una precisión aún mayor y la capacidad de trabajar con una gama más amplia de materiales, incluyendo aquellos con propiedades avanzadas como la conductividad eléctrica o la capacidad de auto-reparación. La integración de la impresión 3D con otras tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas, podría llevar a avances aún más significativos. La continuación de la investigación y la inversión en esta tecnología serán clave para desbloquear grandes posibilidades futuras.

Invitamos a los lectores a explorar más sobre el fascinante mundo de la impresión 3D y considerar cómo esta tecnología podría impactar sus propias vidas y carreras.

Ya sea que estén interesados en aplicaciones prácticas, como la impresión 3D en casa, o en el potencial de la impresión 3D para resolver desafíos globales, hay un sinfín de recursos disponibles para el aprendizaje y la exploración (Tabla 1).

La impresión 3D no es solo una herramienta para ingenieros y diseñadores, es una tecnología que tiene el potencial de influir en muchas áreas de nuestras vidas, fomentando la creatividad, la innovación y un futuro más sostenible. La era de la impresión 3D está aquí y sus posibilidades son tan vastas como nuestra imaginación.

REFERENCIAS

Bai W, Fang H, Wang Y, Zeng Q, Hu G, Bao G and Wan Y (2021). Academic Insights and Perspectives in 3D Printing: A Bibliometric Review. *Applied Sciences* 11(18):8298. <https://doi.org/10.3390/AP11188298>.

Cerdá E and Khalilova A (2019). Economía Circular. *Economía Circular, Estrategia y Competitividad Empresarial* 401:11-20.

Chadha U, Abrol A, Vora NP, Tiwari A, Shanker SK and Selvaraj SK (2022). Performance evaluation of 3D printing technologies: a review, recent advances, current challenges, and future directions. *Progress in Additive Manufacturing* 7(5):853-886. <https://doi.org/10.1007/S40964-021-00257-4>.

D'Aveni R (2015). The 3-D Printing Revolution. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/2015/05/the-3-d-printing-revolution>.

Hossain N, Chowdhury MA, Shuvho MBA, Kashem MA and Kchaou M (2021). 3D-Printed Objects for Multipurpose Applications. *Journal of Materials Engineering and Performance* 30(7):4756-4767. <https://doi.org/10.1007/S11665-021-05664-W/FIGURES/6>.

Manero A, Sparkman J, Dombrowski M, Smith P, Senthil P, Smith S, Rivera V and Chi A (2023). Evolving 3D-Printing Strategies for Structural and Cosmetic Components in Upper Limb Prosthesis. *Prosthesis* 5(1):167-181. <https://doi.org/10.3390/PROSTHESIS5010013>.

Mikula K, Skrzypczak D, Izydorczyk G, Warchol J, Moustakas K, Chojnacka K and Witek-Krowiak A (2021). 3D printing filament as a second life of waste plastics – a review. *Environmental Science and Pollution Research* 28(10):12321-12333. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10657-8>.

NASA. (2023). 3D Printed Rocket Launched Using Innovative NASA Alloy. Glenn Communications. <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/marshall/3d-printed-rocket-launched-using-innovative-nasa-alloy/>.

Safali S, Berk T, Makelov B, Acar MA, Gueorguiev B and Pape HC (2023). The Possibilities of Personalized 3D Printed Implants – A Case Series Study. *Medicina* 59(2):249. <https://doi.org/10.3390/MEDICINA59020249>.

Sillezar J (2022). Harvard researchers help 3D printing take its next step. *The Harvard Gazette*. <https://news.harvard.edu/gazette/story/2022/04/harvard-researchers-help-3d-printing-take-its-next-step/>.

Srinivasan D, Meignanamoorthy M, Ravichandran M, Mohanavel V, Alagarsamy SV, Chanakyan C, Sakthivelu S, Karthick A, Prabhu TR and Rajkumar S (2021). 3D Printing Manufacturing Techniques, Materials, and Applications: An Overview. *Advances in Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2021/5756563>.

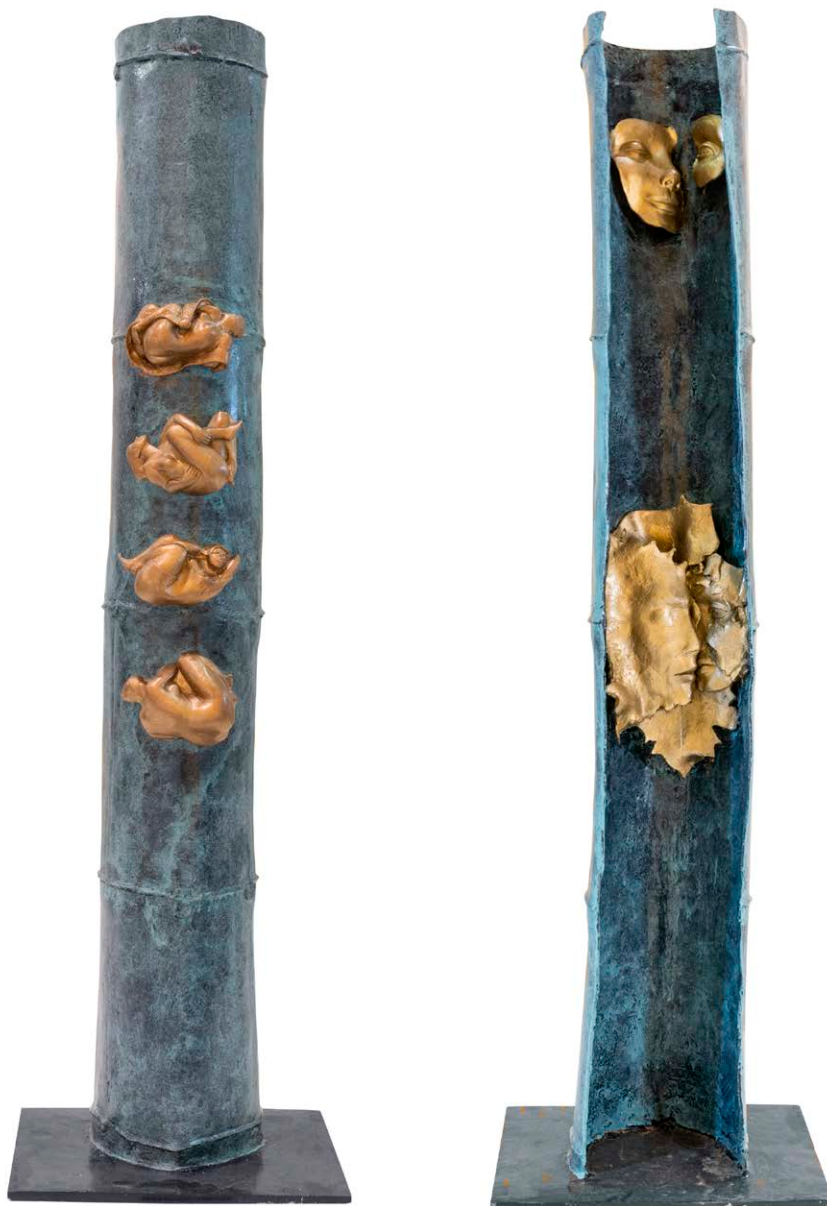
Tibbetts JH (2021). The Future of Bioprinting: Multidisciplinary teams seek to create living human organs. *BioScience* 71(6):564-570. <https://doi.org/10.1093/BIOSCI/BIAB046>.

Walker J (2021). Why the Switch to Electric Vehicles May Boost Use of 3D Printing in Auto Manufacturing. *SME*. <https://www.sme.org/technologies/articles/2021/september/why-the-switch-to-electric-vehicles-may-boost-use-of-3d-printing-in-auto-manufacturing/>.

Yan X, Bethers B, Chen H, Xiao S, Lin S, Tran B, Jiang L and Yang Y (2021). Recent Advancements in Biomimetic 3D Printing Materials With Enhanced Mechanical Properties. *Frontiers in Materials* 8:518886. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.518886>.

Francisco Jacob Ávila Camacho
División de Ingeniería en Sistemas Computacionales
Tecnológico Nacional de México
Tecnológico de Estudios Superiores Ecatepec
fjacobavila@tese.edu.mx

Leonardo Miguel Moreno Villalba
División de Ingeniería Informática
Tecnológico Nacional de México
Tecnológico de Estudios Superiores Ecatepec



© José Kuri Breña. *Bambú haikú*. Escultura, bronce a la cera perdida, 1990.

De lo local al más allá: herramientas satelitales

José Luis **Pérez López**
Susana **Maza-Villalobos**

En mi ciudad todo tiene que ver con los ríos. Yo crecí con historias que me contaban los más grandes sobre lo divertido que era ir al río a pescar, a bañarse o a echarse un clavado. Aquí, los ríos tienen sus poemas y sus canciones. Cuenta la leyenda que el nombre de mi ciudad, Tapachula, proviene del encuentro en el río entre una mujer semidesnuda que lavaba su ropa y un hombre quien, al observarla, le gritó: “¡Tápate, chula!”. Sin embargo, el nombre de Tapachula proviene del vocablo náhuatl *Tlapacholatl*, que significa tierra anegadiza, por *tlopacholi*, que significa cosa anegada, y *atl* que significa agua. ¡Y cómo no nombrar así a estas tierras, si además de estar custodiada por dos ríos, el Coatán y el Cahoacán, aquí llueve a cántaros!

Un chiste local es que en Tapachula solo hay dos estaciones, la de lluvias y la del tren, pues la época de lluvia en esta ciudad dura 9.4 meses. Los lugareños sabemos que si un foráneo toma agua del Coatán, entonces ya no se irá de esta tierra. De este mismo río se obtiene la mayoría del agua que usamos en la ciudad, pues aprovechando la fuerza del escurrimiento de sus aguas, la hidroeléctrica José Cecilio del Valle produce energía eléctrica para la región.

Así como a los ríos de mi ciudad se les quiere, también, se les respeta y teme. Como aquí llueve mucho, es común que todos los años estos ríos se desborden e inunden casas o derrumben puentes.

Más de una vez, los ríos han crecido tanto que se han llevado colonias enteras, hospitales y mercados. En estos eventos, desafortunadamente, mucha gente ha perdido la vida y su patrimonio.

Mi generación no vivió los ríos de mi ciudad como lugares para jugar, relajarse, pasear, tomar agua, bañarse o pescar. Más bien, en los últimos años, vivimos con ríos de color gris, o algo parecido al café con leche, con montones de basura flotando sobre ellos y con un olor fétido que invita a tapar nuestras narices. Las lluvias, aunque son bienvenidas por refrescar la ciudad, son observadas con cautela pues, con su llegada, los ríos se desbordan, ahora con más frecuencia y fuerza, haciendo que sus corrientes causen importantes pérdidas materiales y humanas. Cada vez menos personas pescan en estos ríos, y en las partes donde desembocan al mar los pescadores se quejan de que ya no hay peces. Además, sus cauces son cada vez más rectos y arrastran consigo lodos que depositan en su desembocadura, lo que ha causado problemas de sedimentación en esas zonas.

PROBLEMAS COMPLEJOS

Confieso que me encantaría poder ver los ríos como me cuentan que eran antes. Sin embargo, entiendo que es un problema que tiene muchas causas y efectos, por lo que su solución es complicada e implica muchos factores. A este tipo de problemas se les considera como problemas complejos (Luengo, 2024; Maldonado, 2022).

La contaminación y el desbordamiento de los ríos de mi ciudad es un problema complejo que ha surgido por una mala gestión del medio ambiente; los factores que intervienen son muchos y diversos, estos solo son algunos ejemplos: cada vez hay más casas e industrias que tiran sus aguas de desecho a los ríos sin haber sido tratadas, hay un deficiente sistema de recolección y manejo de basura, el crecimiento de la ciudad es continuo y desordenado, la sociedad moderna consume y tira sus productos después del primer uso sin pensar en reciclar o reusar.

LOCALIZACIÓN

Una de las características más importantes de un problema complejo es que sucede en un lugar preciso y único. Esto parece ser algo obvio, sin embargo, para la elaboración de soluciones es muy importante saber cuáles son las características del lugar donde se presenta el problema para saber qué tipo de herramientas utilizar y a dónde destinar de manera más eficiente los recursos para solucionarlo.

Regresemos, por un momento, al ejemplo de los ríos contaminados de mi ciudad. En este caso nos conviene saber cuáles son las características del lugar donde corren los ríos. Es importante conocer cuántas personas viven ahí, en qué zonas habitan y cómo será la ciudad en unos años, cuando crezca. También es importante conocer qué actividades realizan las personas de la ciudad y dónde están ubicados los mercados, las escuelas, los hospitales y las fábricas, ya que son elementos importantes que influyen o se ven afectados por la dinámica y estado de conservación de los ríos. Con esta información, podríamos generar soluciones específicas para cada localización. Por ejemplo, sabríamos dónde están las colonias con más habitantes que generan más aguas residuales; ahí pondríamos una planta de tratamiento para que limpiase estas aguas antes de que lleguen a los ríos. Podríamos saber, también, qué tipo de fábricas hay en la ciudad para exigir que sus dueños establezcan medidas de mitigación. Además, podríamos conocer qué escuelas y hospitales están más cerca de los ríos para prevenir desastres ante un posible desbordamiento e inundación.

MÁS ALLÁ DE LO EVIDENTE LOCALMENTE

Existen algunos elementos que no se pueden percibir de forma tan inmediata como los del párrafo anterior, pero que son importantes de localizar. Los ríos de mi ciudad nacen más allá de esta y desembocan en el mar. Además, forman un sistema llamado cuenca, una especie de red donde podemos observar que el agua de estos ríos está conectada con otros cuerpos de agua que, en conjunto, escurren hacia un mismo punto (Figura 1).

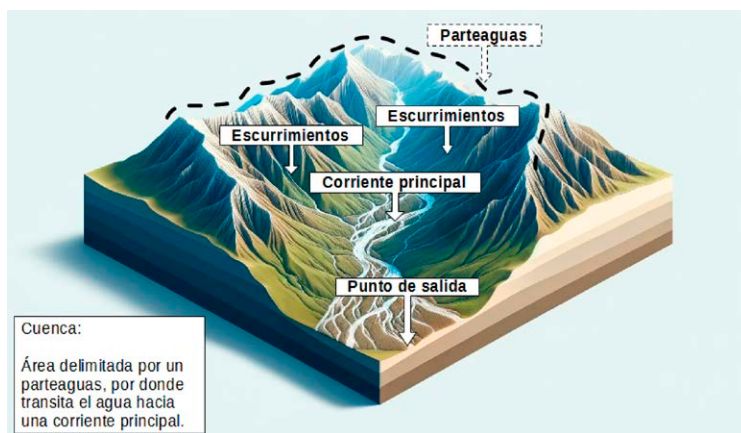


Figura 1. Diagrama que muestra una cuenca hidrográfica y sus componentes principales. (Elaboración propia con Chatgpt).

Lo anterior nos indica que lo que sucede en la parte alta de la cuenca de un río, donde este nace, o en la parte media, repercute en la parte baja, donde termina. En ese sentido, la localización vuelve a ser importante para generar soluciones a la contaminación de los ríos de mi ciudad. Sería importante entender que la deforestación en la parte alta de la cuenca, y la contaminación de la ciudad, sobre todo por sólidos en la parte media, afectan a la parte baja de los ríos donde hay problemas de sedimentación, contaminación, falta de peces, entre otros. Recordemos que la presencia de selvas o bosques ayuda a la retención del suelo que evita la erosión, así como a la absorción de agua para alimentar los mantos acuíferos.

Cuando existe deforestación, el suelo queda descubierto, y ante fuertes lluvias como las que ocurren en mi región, el suelo es arrastrado y la amplitud del río aumenta llevándose consigo lo que encuentra a su lado.

Esta forma de pensar los problemas ambientales, poniendo especial atención en el factor de la localización y sus componentes se llama *análisis espacial*. Este tipo de análisis no es nuevo; sin embargo, las nuevas tecnologías de la información y los desarrollos tecnológicos permiten mayor precisión y exactitud en las mediciones que nos indican dónde suceden las cosas.

Hoy en día, el conjunto de satélites artificiales que orbitan la tierra, las tecnologías de mapeo de la superficie terrestre y las supercomputadoras permiten, a través de programas computacionales, producir,

manejar y gestionar gran cantidad de datos espaciales en poco tiempo. Los datos espaciales son aquellos que, a través de coordenadas, nos indican un punto en la superficie terrestre para señalar dónde se encuentran las cosas. Cuando el análisis espacial se junta con disciplinas como la geomática (la

ciencia que se encarga del manejo de información geográfica utilizando tecnologías de información), la geodesia (la ciencia que estudia la forma y dimensiones de la Tierra), el análisis de datos (la ciencia que se encarga de manejar, ordenar y entender una cantidad enorme de datos), o con ciencias como la geografía, la computación, la biología o las ciencias sociales, puede generar soluciones para los problemas complejos del medio ambiente (Buzai y Baxendale, 2019).

Las personas que utilizan el análisis espacial en sus investigaciones han generado productos de gran interés y utilidad para entender estos problemas. Veamos algunos ejemplos.

La plataforma *Google Earth Engine* cuenta con información de imágenes satelitales de acceso gratuito que pueden ser usadas para el análisis espacial. Esta plataforma es un repositorio de bases de datos espaciales desde el que se puede acceder, sin costo, a diversos proveedores de imágenes satelitales y realizar distintas operaciones con estas. Existen otras plataformas que proveen información espacial, algunas de ellas son: 1) *USGS Earth Explorer*, desarrollada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos; 2) *La NASA's Earthdata Search*, que ofrece datos de observación de la Tierra por misiones de la NASA; 3) *Open Street Map*, que es una plataforma colaborativa que permite a los usuarios editar y utilizar datos geográficos de infraestructura urbana y rural de todo el mundo.

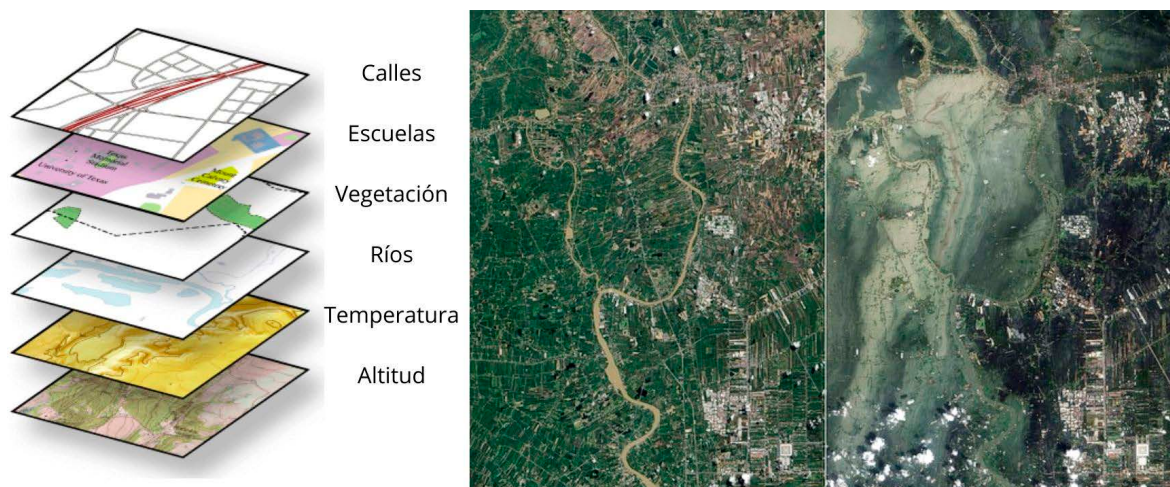


Figura 2. Esquema que muestra diferentes capas, cada una nos proporciona información diferente que nos ayuda a entender mejor los problemas complejos, como lo es una inundación (elaboración propia).

Como se puede observar, existen imágenes satelitales y mapas con información muy diversa.

Esta nos puede indicar nuestra ubicación, informándonos el nombre del país, estado, ciudad, poblado e incluso el nombre de la calle en donde estamos. También hay información espacial mucho más completa con datos de temperatura, precipitación, nubosidad, elevación, topografía, tipos de vegetación, densidad poblacional y demás, del lugar de nuestro interés (Anselin, 1989; Martín Galdón, 2024).

Esta información es útil cuando abordamos problemas complejos y buscamos sus soluciones (Figura 2). Con la información espacial se generan análisis de muy distinto tipo para la resolución de diversos problemas complejos.

En México, por ejemplo, el Sistema Integral de Monitoreo de Vectores agrupa la información espacial epidemiológica y entomológica para ayudar a combatir enfermedades como el dengue (Manrique Saide, 2023).

Por otro lado, el geoportal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) utiliza el análisis espacial para generar mapas de distribución potencial y diseñar estrategias para conservar las especies de flora y fauna del país (CONABIO, 2023).

Para la región donde se encuentra mi ciudad, con estas herramientas se ha evaluado cómo ha ido cambiando la cobertura de la vegetación en más de diez años (Maza-Villalobos *et al.*, 2023).

CONCLUSIÓN

El análisis espacial es una herramienta que nos permite abordar los problemas complejos, poniendo especial importancia a la localización, como punto de partida para la generación de soluciones. Espero que los ríos de mi ciudad puedan ser lo que un día fueron, ríos limpios.

Y creo que esto es posible si entendemos que para llegar a su solución debemos considerar la complejidad del problema, abordando aspectos que van desde la identificación y ubicación de los diferentes tipos de contaminación, hasta aquellos que tienen que ver con la percepción de la gente que vive alrededor de ellos, teniendo presente que los ríos son un elemento perteneciente a una cuenca y no un elemento aislado.

REFERENCIAS

Anselin L (1989). What is special about spatial data? Alternative perspectives on spatial data analysis." In: Symposium on Spatial Statistics, Past, Present and Future. Recuperado de: <https://escholarship.org/uc/item/3ph5k0d4>.



© José Kuri Breña. *Escote*.
Escultura, bronce a la cera perdida, 1989.



© José Kuri Breña. *San Pedro*.
Escultura, bronce a la cera perdida, sfp.



© José Kuri Breña. *Hamaca*.
Escultura, bronce a la cera perdida, 1991.

Buzai GD y Baxendale CA (2010). Actas I Congreso Internacional sobre Ordenamiento Territorial y Tecnologías de la Información Geográfica. Obras Colectivas 24. Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá. (Versión CD). ISBN 978-84-8138-920-3. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/341297868_Analisis_espacial_con_Sistemas_de_Informacion_Geografica_Aportes_de_la_Geografia_para_la_elaboracion_del_diagnostico_en_el_Ordenamiento_Territorial#fullTextFileContent.

CONABIO (2023) Distribución de las especies. Recuperado de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/distribesp>.

Luengo GE (2024). Abordaje y tratamiento de problemas complejos. En Leal Martínez G y López Ramírez ME (Coords.), *Resolver problemas sociales: hacia una metodología de nodos articuladores*. Recuperado de: <https://complexus.iteso.mx/2023/01/24/abordaje-y-tratamiento-de-problemas-complejos/>.

Maldonado CE (2022). Teoría de los problemas complejos. *Cinta de Moebio* 74:109-120. Recuperado de: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-554X2022000200109.

Manrique Saide P (2023). Hacia el abordaje integral de las enfermedades transmitidas por vectores en el sur de México. *Salud Pública de México* 65(2):109-111. Recuperado de: <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/14706>.

Martín Gabaldón M (2024). Más allá de la localización. El potencial del análisis espacial a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en los estudios histórico-sociales sobre el territorio. *Ichan Tecolotl* 35(381). Recuperado de: <https://ichan.ciesas.edu.mx/mas-alla-de-la-localizacion-el-potencial-del-analisis-espacial-a-traves-de-los-sistemas-de-informacion-geografica-sig-en-los-estudios-historico-sociales-sobre-el-territorio/>.

Maza-Villalobos S, Alvarado Sosa E, Arriaza Rodríguez AD, Infante F and Castillo Santiago MA (2023). Land use soil and vegetation dynamic in landscapes highly modified by agricultural activities in Southern Mexico. *Botanical Sciences* 101(2):374-386. Recuperado de: <https://doi.org/10.17129/botsci.3148>.



© José Kuri Breña. *David*.
Escultura, bronce a la cera perdida, sfp.

Torres M, Moreno-Ibarra M, Menchaca-Méndez R, Quintero R y Guzmán G (2011). Análisis espacial por medio de un sistema de información geográfica distribuido. *Revista Digital Universitaria* 12(5):3-16. Recuperado de: https://ru.tic.unam.mx/bitstream/handle/123456789/1894/art54_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=.

José Luis Pérez López
Susana Maza-Villalobos
El Colegio de la Frontera Sur
Unidad San Cristóbal de Las Casas
sumaza@ecosur.mx



© José Kuri Breña. *Jícara fragmentada*. Escultura, bronce a la cera perdida, sfp.

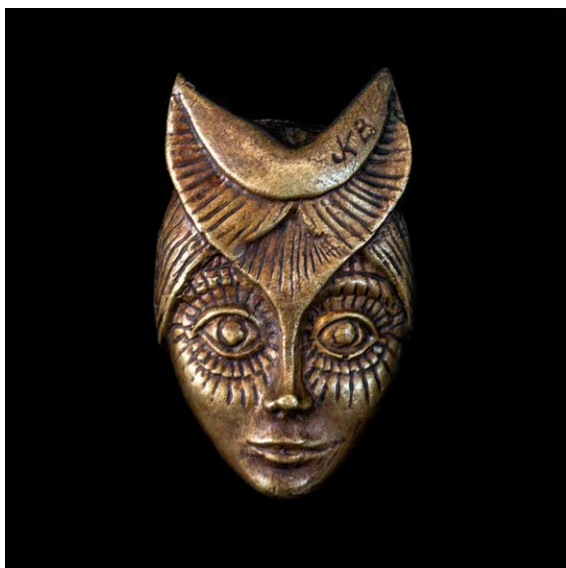
Cómo se midió por primera vez el entrelazamiento cuántico

A. Akari **Uc Guerra**
Giselle N. **Morales Rosales**

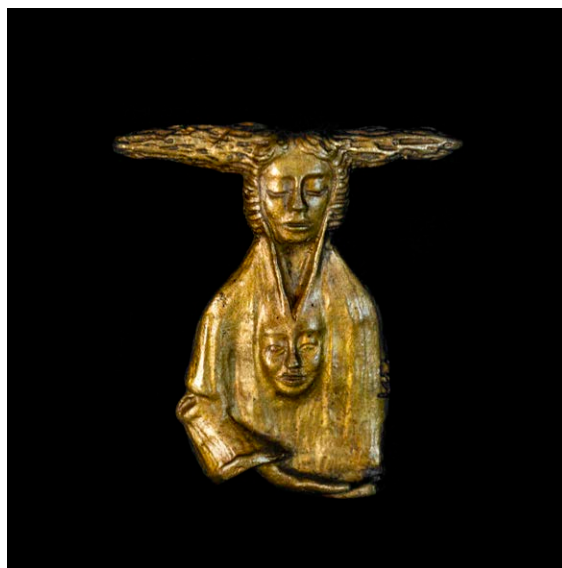
El entrelazamiento es una propiedad de la mecánica cuántica que no tiene ningún parecido con la física clásica. Este concepto continúa desafiando a los físicos más brillantes de cada época, ya que no se conoce completamente su naturaleza. El entrelazamiento sirve como una correlación no local, entendida esta como una comunicación a distancia, más fuerte que las que se han conocido (en particular, podemos citar otra correlación o comunicación a distancia llamada discordia cuántica; Ávila, 2018), por lo que puede servir como una herramienta poderosa que nos ayude a superar ciertas limitaciones de la física clásica (Wineland, 2013).

El entrelazamiento cuántico es un fenómeno caracterizado por el hecho de que dos o más partículas están íntimamente correlacionadas entre sí, de forma que no exista la posibilidad de describirlas de manera independiente (Schrödinger, 1935). De manera sencilla, se puede decir que, cuando sea medido el estado de una de estas partículas, de forma inmediata ya se conoce el estado de la o las otras, sin importar la distancia que las separe.

Para poder comprender apropiadamente qué es entrelazamiento cuántico, se hace uso de conceptos básicos de la mecánica cuántica. Se sabe, por ejemplo, que las partículas no pueden ser definidas por una trayectoria cinemática y que, en cambio, deben definirse mediante



© José Kuri Breña. *Búho*.
Escultura, joya miniatura, bronce a la cera perdida, sfp.



© José Kuri Breña. *Nube*.
Escultura, joya miniatura, bronce a la cera perdida, sfp.

una función de onda que refleje la probabilidad de que, en determinado punto, sea encontrado un estado específico de la partícula que se está analizando (Born, 1926).

El entrelazamiento cuántico ocurre cuando dos o más partículas se crean en un estado tal que sus ondas se encuentran estrechamente correlacionadas, lo que quiere decir que estas partículas están en un estado de superposición que da la posibilidad de encontrarlas en dos o más estados.

Un ejemplo claro ocurre cuando se crean dos fotones en un estado en el que ambas partículas están polarizadas perpendicularmente, por lo que, si se mide la polarización de un fotón, de forma automática se conoce la del otro fotón.

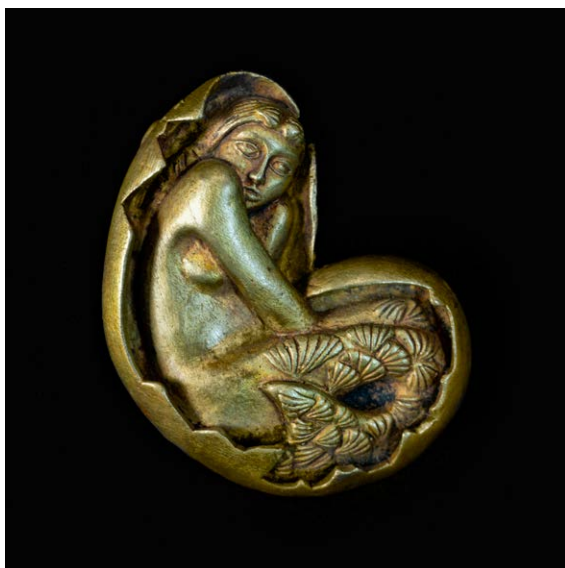
El término “entrelazamiento cuántico” fue acuñado desde los inicios de la mecánica cuántica. Fue en 1927 cuando Erwin Schrödinger propuso en su artículo “*Quantisierung als Eigenwertproblem*” (“Cuantización como problema de autovalores”), el concepto de *entanglement*, que usó para describir el estado de superposición en el que hay dos partículas que están tan correlacionadas que no es posible describirlas de forma independiente (Schrödinger, 1927).

En este artículo también propuso que las partículas cuánticas pueden estar enlazadas (esto quiere decir que la medición del estado de una partícula afectaría de igual manera a la otra partícula) sin importar qué tan separadas estén.

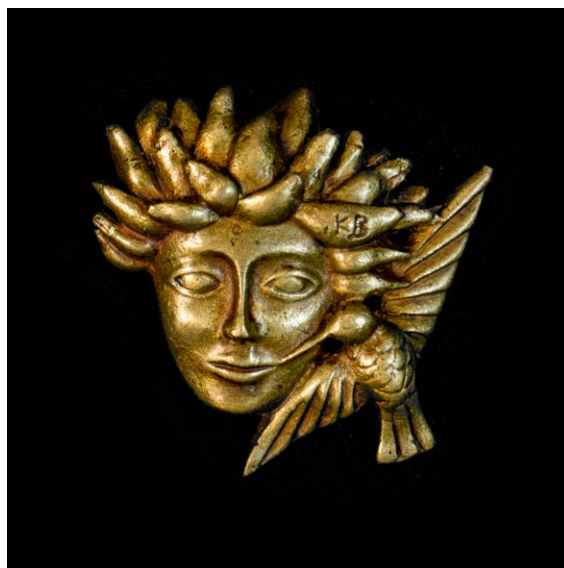
En palabras de Schrödinger, el entrelazamiento es “no uno sino más bien el rasgo característico de la mecánica cuántica”. Pero estas ideas fueron descritas informalmente.

Más tarde, en 1935, Einstein, Podolsky y Rosen (EPR) discutieron el efecto del entrelazamiento en su artículo “*Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?*” (“¿Se puede considerar completa la descripción mecánico-cuántica de la realidad física?”), publicado en 1935, cuyo objetivo fue mostrar que la descripción realizada por Schrödinger sobre la mecánica cuántica se encontraba aparentemente incompleta. En ese artículo propusieron un experimento mental que demostraba que, si las mediciones de dos partículas entrelazadas no pudieran ser descritas por las propiedades de las partículas individuales, entonces la mecánica cuántica estaría incompleta (Einstein, Podolsky y Rosen, 1935).

Fue en 1964 cuando John Bell demostró que el entrelazamiento cuántico era más que una ilusión en su artículo “*On the Einstein-Podolsky-Rosen*



© José Kuri Breña. *Sirena*.
Escultura, joya miniatura, bronce a la cera perdida, sfp.



© José Kuri Breña. *Alcachofa colibrí*.
Escultura, joya miniatura, bronce a la cera perdida, sfp.

paradox" ("Sobre la paradoja de Einstein-Podolsky-Rosen"). Este artículo se basó principalmente en el experimento mental realizado por EPR. En este experimento, dos partículas entrelazadas son separadas y llevadas a dos laboratorios diferentes.

Bell demostró que, si dos partículas estuvieran correlacionadas de manera que no pudiera explicarse por las propiedades de las partículas individuales, eso daría por hecho que el entrelazamiento cuántico es un fenómeno real y que viola el principio de localidad, el cual establece que la información no puede viajar más rápido que la velocidad de la luz.

El trabajo de Bell fue un punto clave para la comprensión del entrelazamiento cuántico porque, además de demostrarlo como un fenómeno real, también mostró que no puede ser explicado por las leyes de la física cuántica (Bell, 1964).

En concreto, el trabajo de Bell demostró que el entrelazamiento cuántico no es compatible con el realismo local, una teoría filosófica que sostiene que cada partícula tiene un estado bien definido, incluso si no se lo está midiendo.

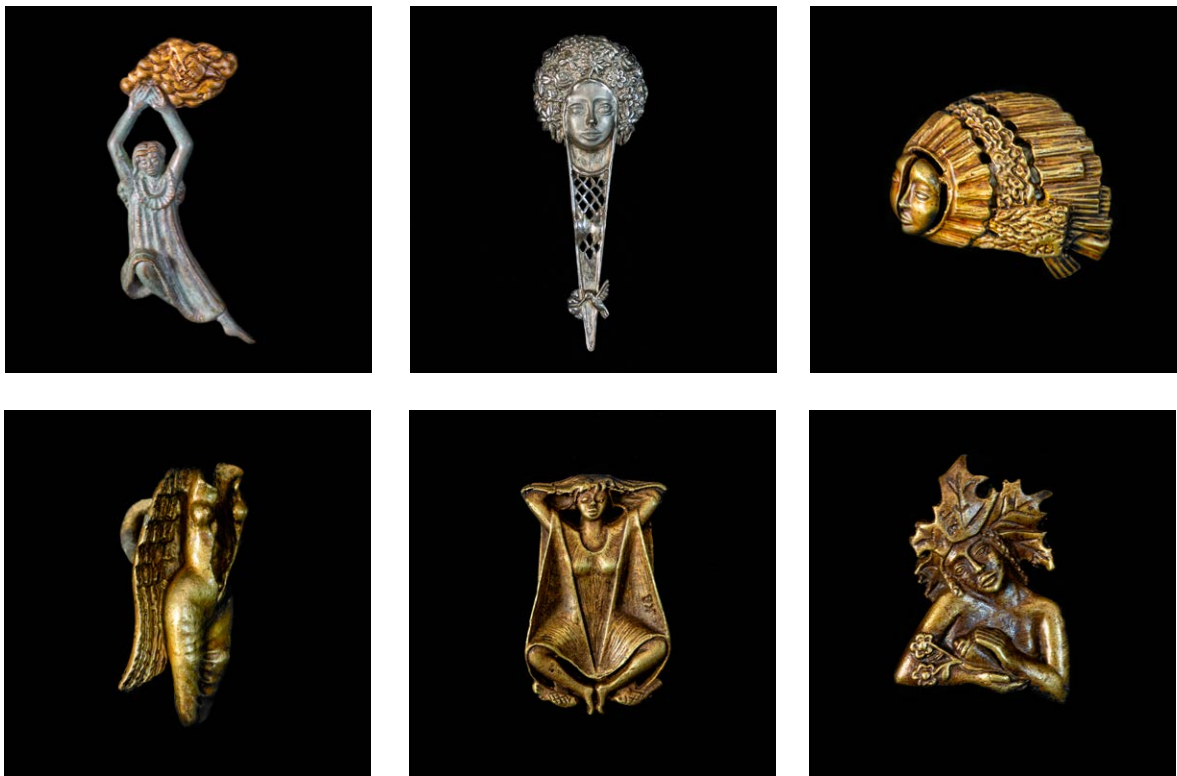
Esto quiere decir que el realismo local no puede generar una explicación de lo que ocurre con el entrelazamiento cuántico, y que debemos aceptar que la naturaleza del universo es mucho más compleja de lo que cualquiera pudiera imaginar.

Entre 1970 y 1990, se realizaron una serie de experimentos que confirmaron el entrelazamiento cuántico como un fenómeno real. En uno de ellos se hizo uso de fotones entrelazados, y al demostrar que las mediciones realizadas en estos estaban correlacionadas, se comprobó que violaban el principio de localidad (Batle *et al.*, 2017).

La primera vez en que se midió el entrelazamiento cuántico de manera experimental fue en 1982 por Alain Aspect, Philippe Grangier y Gérard Roger en el Laboratorio de Óptica Cuántica del CNRS en Orsay, Francia. Para realizar este experimento, en palabras sencillas, crearon dos pares de fotones entrelazados; después, estos fotones fueron separados con varios metros de distancia entre ellos y procedieron a medirlos independientemente demostrándose que existía correlación entre ellos a pesar de la distancia entre ambos.

En este punto vale la pena observar que, en su momento, Bell no midió entrelazamiento cuántico como tal. Así, formalmente, la primera medición experimental de entrelazamiento cuántico fue hecha por Alain Aspect.

Gracias a estos y más experimentos a lo largo de los años es que se ha podido entender mejor el



© José Kuri Breña. Escultura, joya miniatura, bronce a la cera perdida, sfp.

entrelazamiento cuántico y hacer uso del mismo para desarrollar nuevas tecnologías que tienen potencial para revolucionar al mundo. Por ejemplo, el desarrollo de nuevos protocolos criptográficos para uso en finanzas, milicia y telecomunicaciones. También, abrirá las puertas para el desarrollo del Internet cuántico.

El concepto de entrelazamiento cuántico está lejos de ser conocido completamente. Una de las implicaciones más fuertes de dicho concepto en la educación es el desarrollo de una nueva licenciatura que se llame Ingeniería Cuántica.

REFERENCIAS

Aspect A, Grangier P and Roger G (1982). Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A new violation of Bell's inequalities. *Physical Review Letters* 49(2):91.

Batle J, Abutalib M and Abdalla S (2017). Anomaly of non-locality and entanglement in teaching quantum information. *Revista Mexicana de Física* 63(1):1-5.

Bell JS (1964). On the Einstein Podolsky Rosen paradox. *Physics Physique Fizika* 1(3):195.

Born M (1927). Quantum mechanics of collision processes. *Zeit. Phys.* 38:803-827.

Einstein A, Podolsky B and Rosen N (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review* 47(10):777-780.

Schrödinger E (1927). Quantisierung als Eigenwertproblem. *Annalen der Physik* 384(4):79-93.

Schrödinger E (1935). The present status of quantum mechanics. *Die Naturwissenschaften* 23(48):1-26.

Wineland DJ (2013). Nobel Lecture: Superposition, entanglement, and raising Schrödinger's cat. *Reviews of Modern Physics* 85(3):1103.

Fine A and Ryckman TA (2020). "The Einstein-Podolsky-Rosen Argument in Quantum Theory." *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2020 Edition). Recuperado de: <https://plato.stanford.edu/archives/sum2020/entries/qt-epr/>.

A. Akari Uc Guerra
Giselle N. Morales Rosales
Centro Universitario
UAEM Valle de Chalco
akarisuc@gmail.com



© José Kuri Breña. *Rostro silvestre*. Fibra de vidrio, 1990.



© José Kuri Breña. *Revelación*. Fibra de vidrio, 1998.