

# elementos

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA • No. 132 • Volumen 30 • octubre -diciembre 2023 • \$40.00

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



00132

Lentas, pero no tanto... | La tecnología avanza en México... | La espiritualidad en el espacio | Industria 4.0. Camino hacia una economía circular | Pletodóntidos... | Flores de verano y plantas arvenses | Dinosaurios en la Ciudad de México | Mariposas y polillas del Jardín Botánico Universitario de la BUAP... | Resistencia bacteriana a los antibióticos... | Las células metastásicas... | El estrés... | Los polvos y partículas del aire que respiramos | Propiedades medicinales de las nanopartículas de selenio | Criopreservación espermática ante la pérdida de la biodiversidad | Arcillas: los fertilizantes sustentables | Desierto Sonorense... | Un paseo por las milpas del Cofre de Perote de Veracruz | Los sistemas inmunes artificiales... | Mejorando la red neuronal convolucional... | ¿De qué manera es posible discernir qué tan cuántico es un sistema bipartito? | Desnudos, censura y agujeros negros | Los literatos progresistas como preceptores ético-políticos de sus sociedades en el siglo XX | Libros | Mofles. Obra gráfica de Enrique Soto

EXHIBIR HASTA EL 31-DICIEMBRE-2023



# 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](http://www.elementos.buap.mx)

revista trimestral de ciencia y cultura  
 número 132, volumen 30, octubre-diciembre de 2023

**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](mailto:esoto24@gmail.com)

**consejo editorial**, Itziar Aretxaga (INAOE), Beatriz Eugenia Baca (ICUAP, BUAP), María Emilia Beyer Ruiz (DGDC, UNAM), María de la Paz Elizalde, (ICUAP, BUAP), Ana Lidya Flores Marín (IBERO Puebla), Marcelo Gauchat (FUNDACIÓN FORMA, A. C.), Sergio Segundo González Muñoz (COLPOS Montecillo), Federico Méndez Lavielle (Facultad de Ingeniería, UNAM), Jesús Mendoza Álvarez (CONACYT), Ricardo Moreno Botello (Ediciones de Educación y Cultura), Francisco Pellicer Graham (Instituto Nacional de Psiquiatría), Adriana Pliego Carrillo (Facultad de Medicina, UAEM), Leticia Quintero Cortés (ICUAP, BUAP), José Emilio Salceda (Instituto de Fisiología, BUAP), Gerardo Torres del Castillo (Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, BUAP), Catalina Valdés Baizabal (Laboratorio de Neurobiología Celular, Universidad de La Laguna), Enrique Vergara (ICUAP, BUAP)  
**obra gráfica**, © Enrique Soto  
**1° de forros**, © Serie "Mofles", 2007  
**2° y 3° de forros**, © Serie "Mofles", 2016  
**4° de forros**, © Serie "Mofles", 2013

## CINTILLO LEGAL

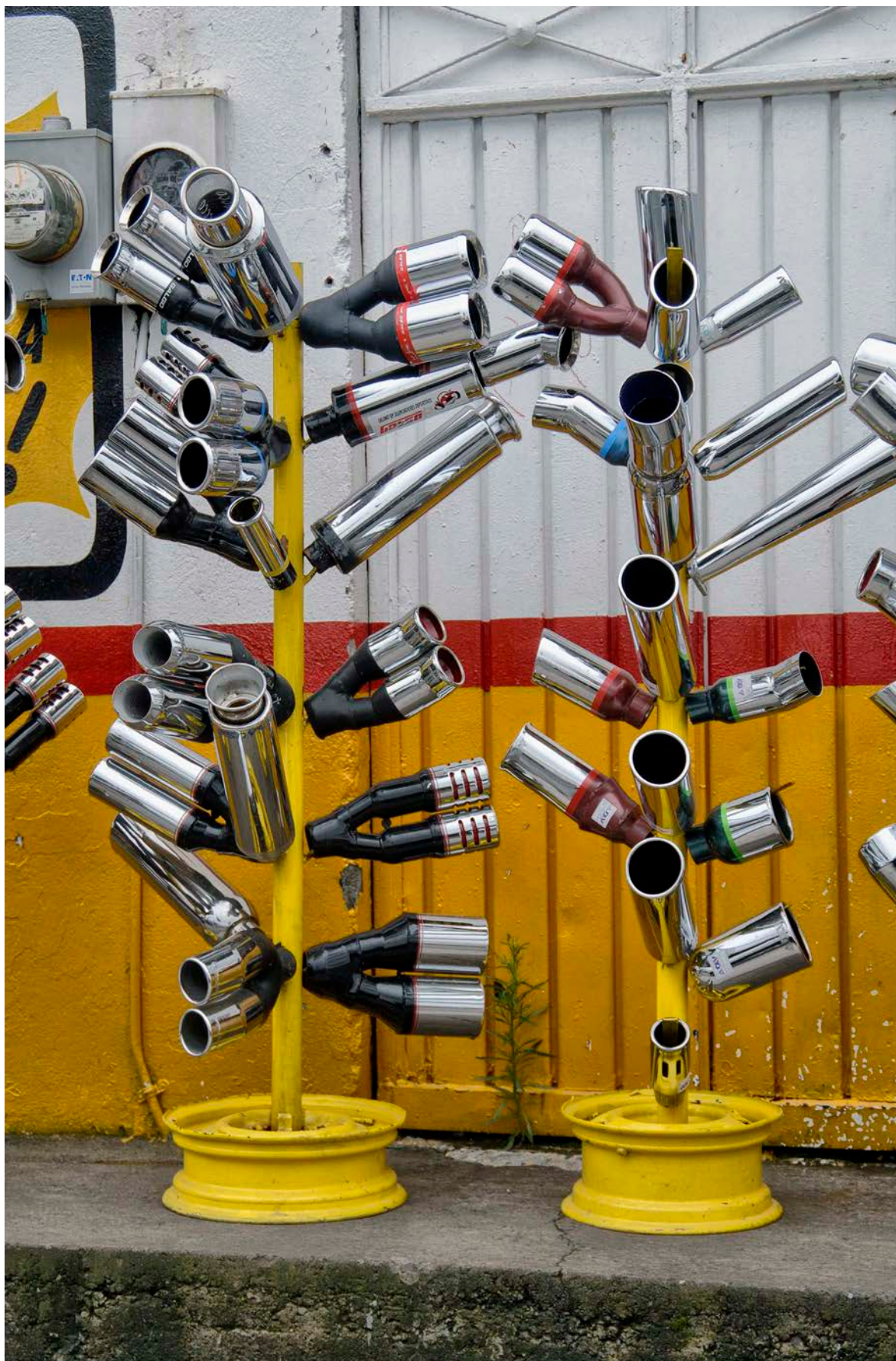
ELEMENTOS, Año 38, No. 132, octubre a diciembre de 2023, es una publicación trimestral editada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con domicilio en 4 Sur número 104, Col. Centro, C. P. 72000, Puebla, Pue., y distribuida a través de Revista Elementos, con domicilio en Av. 14 Sur No. 6301, Col. San Manuel, Puebla, Pue. C. P. 72570. Tel. 222 229 55 00 ext. 7316. Editor responsable Dr. Enrique Soto Eguibar, [esoto24@gmail.com](mailto: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 2023. 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



|                                                                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Lentas, pero no tanto<br>Los tiempos de publicación en revistas latinoamericanas<br>Raúl Marcó del Pont Lalli, Raúl Martínez Navarro                                               | 3   |
| La tecnología avanza en México, pero la brecha digital continúa<br>Giovanni Maimone Celorio                                                                                        | 9   |
| La espiritualidad en el espacio<br>Vicente de Haro Romo                                                                                                                            | 15  |
| Industria 4.0<br>Camino hacia una economía circular<br>César Ramírez-Márquez, José María Ponce-Ortega, Juan Gabriel Segovia-Hernández                                              | 23  |
| Pletodóntidos: ¿quiénes son y dónde viven?<br>Enrique A. Cante-Bazán, Aurelio Ramírez-Bautista                                                                                     | 27  |
| Mofles<br>Obra gráfica de Enrique Soto<br>Leopoldo Noyola                                                                                                                          | 31  |
| Flores de verano y plantas arvenses<br>Patricia Hernández-Ledesma, Samuel Cruz-Esteban                                                                                             | 35  |
| Dinosaurios en la Ciudad de México<br>Jorge A. Herrera-Flores                                                                                                                      | 39  |
| Mariposas y polillas del Jardín Botánico Universitario de la BUAP: un primer contacto<br>José Antonio González Oreja, César Antonio Sandoval Ruiz, Francisco Javier Jiménez Moreno | 45  |
| Resistencia bacteriana a los antibióticos:<br>es tiempo de tomar conciencia y acción<br>Federico Alonso Zumaya-Estrada, Alejandro Alvarado-Deigado, Celia Mercedes Alpuche-Aranda  | 55  |
| Libros                                                                                                                                                                             | 63  |
| <b>Publicación digital</b>                                                                                                                                                         |     |
| Las células metastásicas y su viaje a tierras lejanas<br>Georgina González Ávila, Bettina Sommer                                                                                   | 65  |
| El estrés: un balance entre la supervivencia y el deterioro en la salud<br>Ana Lilia Cerda-Molina, Lilian Mayagoitia-Novales, Javier I. Borrás-León                                | 73  |
| Los polvos y partículas del aire que respiramos<br>Julia G. Cerón Bretón, Rosa M. Cerón Bretón, Reyna C. Lara Severino                                                             | 79  |
| Propiedades medicinales de las nanopartículas de selenio<br>Fernando Martínez Esquivias, Juan M. Guzmán Flores                                                                     | 87  |
| Criopreservación espermática ante la pérdida de la biodiversidad<br>Jesús D. Bustamante-González, Alejandro Ávalos-Rodríguez                                                       | 91  |
| Arcillas: los fertilizantes sustentables<br>Geolar Fetter, Franchescoli D. Velázquez Herrera                                                                                       | 95  |
| Desierto Sonorense: mucho que aportar a la humanidad<br>Hernán Celaya Michel, Maryela Celaya Rosas                                                                                 | 101 |
| Un paseo por las milpas del Cofre de Perote de Veracruz<br>Samuel Cruz-Esteban, Carlos A. Cultid-Medina, Simoneta Negrete-Yankelevich                                              | 107 |
| Los sistemas inmunes artificiales en la detección de ciberataques<br>David Limón Cantú, Vicente Alarcón Aquino                                                                     | 113 |
| Mejorando la red neuronal convolucional para detectar objetos en imágenes infrarrojas<br>Daniel Treviño Sánchez, Vicente Alarcón Aquino                                            | 121 |
| ¿De qué manera es posible discernir qué tan cuántico es un sistema bipartito?<br>José R. Castro San Agustín, Manuel Ávila Aoki                                                     | 131 |
| Desnudos, censura y agujeros negros<br>Alberto Díez-Tejedor                                                                                                                        | 133 |
| Los literatos progresistas como preceptores ético-políticos de sus sociedades en el siglo XX<br>H. C. F. Mansilla                                                                  | 135 |



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2006.

# Lentas, pero no tanto

## Los tiempos de publicación en revistas latinoamericanas

**Raúl Marcó del Pont Lalli**  
**Raúl Martínez Navarro**

### NEANDERTALES Y FACTOR DE IMPACTO

El biólogo sueco Svante Pääbo recibió en septiembre de 2022 el Premio Nobel de Fisiología o Medicina. Desde sus días como estudiante se convenció de que los análisis genéticos, que por entonces se centraban en ciertas enfermedades humanas, podrían ayudar a conocer mejor el mundo de los homínidos extintos, en especial, los de aquellos cuyos restos fueron identificados originalmente en el Valle de Nearden, cerca de Düsseldorf, Alemania. Gracias a sus esfuerzos, hoy sabemos que, a pesar de que somos especies distintas, entre sapiens y neandertales hubo una transferencia de genes (entre 1.5 y 5 %) que se tradujo en cambios fisiológicos profundos, por ejemplo, en cómo nuestro sistema inmunológico reacciona a las infecciones.

Vale recordar que, en 2014, la editorial española Alianza tradujo una obra de Pääbo, *El hombre de Neandertal. En busca de genomas perdidos*, un delicioso e ilustrativo recorrido por la evolución de la genética y su aplicación a momias egipcias, osos de las cavernas, mamuts lanudos y perezosos gigantes, así como a neandertales y denisovanos (otro grupo de humanos primitivos).

Uno de los aspectos que están presentes a lo largo de este libro tiene que ver con el momento de publicar resultados, dónde hacerlo y qué revistas ofrecen ventajas al respecto.

A veces, un artículo que requería una exposición extensa para otros especialistas del campo, no podía enviarse a *Nature* o *Science*, a pesar de la enorme visibilidad que otorgarían estos medios, por sus estrictos límites de extensión. En otra ocasión, por ejemplo, un joven y enjundioso Pääbo fue en busca de material genético de momias de la amplia y descuidada colección del Museo de Berlín, por entonces detrás del muro. Y se convenció, al momento de dar a conocer los resultados, de que los paleontólogos alemanes, imposibilitados de publicar en Occidente como resultado de las tensiones de la Guerra Fría, se hubieran sentido decepcionados con una sola mención de agradecimiento al final de su trabajo.

Acto seguido, envió su texto a *Das Altertum*, una revista publicada por la entonces Academia de Ciencias de Alemania Oriental, con impacto minúsculo. Que la Stazi intimidara poco después a estos investigadores locales es parte de otra historia.

El resto de *El hombre de Neandertal* está lleno de descubrimientos asombrosos, de ansiedades y dudas monumentales sobre los resultados y, por supuesto, de las rencillas entre equipos de investigación, en este caso, de forma destacada, entre el Instituto Max Planck, en Leipzig, donde se alojan los estudios del equipo de Pääbo, y el grupo de un anterior asociado suyo, Eddy Rubin, en Berkeley. Y las disputas pasan, de forma preponderante, por quién publica primero.

Nos cuenta Pääbo que

[...] aunque casi nunca tengo malos sueños, afirmé en mi discurso improvisado durante la cena (en la *American Association for the Advancement of Science* en 2007) que tenía pesadillas sobre un artículo de Berkeley que aparecía una semana antes del nuestro con las mismas conclusiones.

Por su parte, los editores de *Science* presionaban descaradamente al autor sueco por la primicia de sus resultados, y le ofrecían un megáfono imposible de despreciar. Y también un compromiso de que, dada las carreras de ratas en las que se ve envuelta la ciencia, los artículos recibidos los publicarían en los tiempos pactados, lo que implicaba unas pocas semanas. Aquí, más de uno o una levantará la ceja o fruncirá el ceño y pensará: “¡Claro! ¡Qué diferencia con los tiempos que requieren nuestras revistas académicas!”. Y en esa reflexión se hallará acompañado de figuras muy respetables como, por ejemplo, el sociólogo norteamericano Andrew Abbott, editor de 2000 a 2016 del *American Journal of Sociology*, a quien le sorprendía, durante el último siglo, la persistencia de un racimo de reclamos en la publicación científica: textos mal escritos, investigaciones irrelevantes y, la cereza del pastel, el interminable, casi geológico, proceso que desemboca, ocasionalmente, en una publicación (Abbott, 2008).

Muchas de estas afirmaciones, convertidas prácticamente en folklore académico, y que han sido repetidas innumerables veces en los pasillos de congresos y en pláticas informales, cuentan solo con el respaldo que dan las anécdotas repetidas. Tal vez no era necesario, antes de los datos abiertos, dedicarle esfuerzos a sistematizar cantidades ingentes de información sobre el tiempo transcurrido entre la llegada, la revisión y la aparición de un texto académico en una buena cantidad de *journals*, porque seguramente se hallaría una obvia confirmación de nuestras profundas falencias editoriales. Hoy, el acceso a bases abiertas, entre las que destaca la SciELO (*Scientific Electronic Library Online*), es un apoyo invaluable para confirmar o desechar algunas de estas enraizadas convicciones.

Y, convengamos, que los tiempos de publicación sean elásticos, en algunos casos hasta la desesperación, tiene efectos negativos multicolores. No es menor lo que impacta en el desarrollo de la carrera universitaria de investigadores noveles, en la obtención de becas, de una plaza o de promociones; y, también, más subterráneos, pero no menos impactantes, son los golpes que estos procesos interminables tienen en la producción académica resultado



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2010.

de la frustración (Nguyen *et al.*, 2015). Para no mencionar la forma displicente como serán consideradas las revistas parsimoniosas en sus comunidades de referencia, ya que el tiempo para publicar es uno de los principales aspectos que los autores toman en consideración para escoger la revista en la que esperan dar a conocer sus resultados (Solomon y Björk, 2012).

#### A QUIEN TIENE SE LE DARÁ MÁS...

Para atender esta preocupación sobre retrasos editoriales con algo más que sospechas, trabajamos con las bases de datos que ofrece SciELO para revistas

académicas latinoamericanas de Argentina, Brasil, Chile, Colombia y México.<sup>1</sup> Y seguimos el modelo planteado por Björk y Solomon (2013) para sistematizar la información regional sobre retrasos editoriales y permitir su comparabilidad. Echamos mano de la plataforma Scielo porque ofrece una enorme cantidad de datos abiertos, con una nada despreciable profundidad histórica (que va de 1997 a la fecha), y de allí obtuvimos 359,500 registros para trabajar.

Y bien, ¿qué nos dicen algunos de los resultados? Es posible, a pesar del enorme universo de datos, destacar algunas tendencias claras. Veamos brevemente.

Hay evidentes disparidades regionales. Los menores periodos para dar a conocer un texto los tienen las revistas argentinas y chilenas, mientras a las de Brasil les toma más tiempo aprobar un texto y a las mexicanas darlo a conocer una vez aceptado. Sin embargo, en promedio, las revistas latinoamericanas requieren más de un año (13.36 meses) para que un artículo vea la luz. Uno podría pensar que ciertos promedios similares serían indicadores de una cultura editorial común más o menos extendida, aunque los datos que aparecen a continuación nos harían dudar.

Las variaciones más notorias en los tiempos editoriales, muchas de ellas sorprendentes, para decirlo con delicadeza, se dan en el interior de un mismo campo disciplinar. En Argentina, entre las revistas de ciencias sociales hallamos las que publican en 270 días y las que lo hacen en 657; en Brasil, un autor que desee publicar un texto en ciencias de la tierra se encontrará que hacerlo le puede tomar entre 973 días en un caso extremo y 226 en otro, y en Colombia, en biomédicas, se requerirán entre 520 y 202 días para que el público comience a leer un artículo. Esto explica los elevados coeficientes de variación, en términos porcentuales, por ejemplo, en el caso de las de química (65 %) y artes y humanidades (41 %), lo que indicaría, en sentido contrario a lo sugerido antes, ausencia de estándares o dinámicas editoriales compartidas. Aunque las variables que participan en este proceso son de lo más diversas, es posible inferir de estos datos, con la

ayuda que nuestra propia experiencia editorial, que los cuellos de botella se encuentran principalmente en dos ámbitos. Uno se refiere a la falta de formación adecuada de los editores en América Latina, algo que da como resultado habilidades variables, lo que ayuda a explicar la diversidad de tiempos dentro de revistas de una misma región y disciplina. El otro ámbito tiene que ver con el desinterés de los investigadores por mantener aceitado un proceso central para la producción del conocimiento que se fundamenta en la colaboración profesional, responsable, dedicada al dictamen, toda vez que dicha tarea es irrelevante para promociones, obtención de plazas o de becas. Y, desafortunadamente, no hay datos para América Latina sobre las vueltas de revisión o los tiempos que se tardan los dictaminadores en enviar sus opiniones, y también desconocemos el peso de los retrasos de los propios autores en la entrega de sus nuevas versiones (para una visión global reciente de la revisión por pares, véase Publons, 2018).

Cuando nos salimos de la órbita latinoamericana y comparamos la producción editorial con la de otras latitudes, anglosajonas para más datos, encontramos malas y buenas noticias. Las primeras, que confirmarían las sospechas de los investigadores locales cariacontecidos que mencionamos antes, pudieran ser el fundamento de las quejas crónicas sobre retrasos de nuestros especialistas: un estudio con la base PubMed de por medio (Himmelstein, 2015), que supera en antigüedad de registros a SciELO (llegan a 1965), encontró que a los *journals* allí incluidos, publicar les toma, como media, 100 días. Algo similar sucede con los *megajournals*, como *Scientific Reports*, *BMJ Open* o *PLOS ONE* (Björk, 2018), que ha revolucionado el método de dictamen, y resulta que requieren un poco más de tiempo, 151 días, y cuyo novedoso modelo les ha permitido publicar anualmente unos 30,000 artículos. Y a una de las revistas donde el equipo de Pääbo gusta de publicar, *Nature*, 173 días le son suficientes para que el mundo se entere de sus novedades.

También hay un grupo particular para comparar: el de las muy poco presentables revistas

depredadoras, un término acuñado por el bibliotecario estadounidense Jeffrey Beall, que describe de forma certera sus prácticas y que aporta un enorme descrédito para los esfuerzos serios de las revistas de acceso abierto. Para quienes no hayan oído de ellas, son un lucrativo negocio que se aprovecha de la mutación digital para ofrecerles a ansiosos y presionados académicos jóvenes la posibilidad de dar a conocer pronto sus investigaciones a un costo moderado (aunque varían mucho, se pueden hallar revistas depredadoras que cobran \$94, contra los entre \$800 y \$1,805 de *PLOS ONE*, todo en dólares estadounidenses) y con prácticas de dictamen de muy dudosa calidad. Y estas revistas, para desazón de los editores, por cierto, no solo latinoamericanos, requieren entre 60 y 90 días para que un texto vea la luz en sus páginas (Shen y Björk, 2015).

Sin embargo, no todo son nubes borrascosas en este horizonte comparativo. En un estudio realizado en 2013, en el cual se revisaron 135 revistas (que no incluyen a las *top*, como *Science*, *Nature*, *Cell*, *Lancet*) y 19,500 artículos del mundo anglosajón, se encontró que requieren en promedio 370.7 días para publicar (12.18 meses), un 21.9 % menos que la media de nuestras revistas académicas. Y, más llamativo, en física, en ciencias sociales y artes y humanidades, por ejemplo, los tiempos de publicación son similares a los de nuestra parte del planeta (Björk y Solomon, 2014).

Sería de esperar que quienes, con cierta petulancia, vieron confirmadas sus sospechas de la mala calidad de las revistas de nuestra región, adoptaran, ante estos últimos datos, una postura matizada, menos radical, al considerar que el panorama no es solo variopinto entre quienes escriben en español. Por supuesto, lejos de ser un llamado para una confiada indolencia editorial en la región, los datos, más que las anécdotas, deberían animarnos a explorar nuevas maneras de dictaminar, así como revisar qué falla y qué funciona en nuestras publicaciones periódicas. La desorientación reinante por los efectos de las profundas transformaciones digitales también abre impensadas y apasionantes posibilidades para una nueva vuelta de tuerca a las prácticas editoriales que nos han acompañado y dado forma al mundo



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2006.

moderno desde los humildes inicios de un entonces anónimo herrero de Maguncia.

## NOTAS

<sup>1</sup> Las personas interesadas pueden consultar los datos abiertos en los que basamos este trabajo en <https://zenodo.org/record/6668197/>.

## REFERENCIAS

Abbott A (2008). Publications and the Future of Knowledge. Ponencia presentada el 27 de junio a la Association of American University Press. Recuperado de: <http://home.uchicago.edu/aabbott/Papers/aaup.pdf>.

Björk BC (2018a). Publishing speed and acceptance rates of open access megajournals. *Online Information Review, ahead-of-print* (ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/OIR-04-2018-0151>.

Björk BC (2018). Evolution of the scholarly mega-journal, 2006-2017. *PeerJ* 6: e4357. <https://doi.org/10.7717/peerj.4357>.

Björk BC and Solomon D (2013). The publishing delay in scholarly peer-reviewed journals. *Journal of Informetrics* 7(4):914-923.

Himmelstein D (2015). Publication delays at PLOS and 3,475 other journals. *Satoshi Village*. <https://blog.dhimmel.com/plos-and-publishing-delays/>.

Nguyen VM, Haddaway NR, Gutowsky LFG, Wilson ADM, Gallagher AJ, Donaldson MR, Hammerschlag N and Cooke SJ (2015). How Long Is Too Long in Contemporary Peer Review? Perspectives from Authors Publishing in Conservation Biology Journals. *PLOS ONE* 10(8):e0132557. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132557>.

Publons (2018) *Global State of Peer Review*. Web of Science Group. <https://publons.com/community/gspr>.

Shen C. and Björk BC. (2015). 'Predatory' open access: A longitudinal study of article volumes and market characteristics. *BMC Medicine* 13(1):230. <https://doi.org/10.1186/s12916-015-0469-2>.

**Raúl Marcó del Pont Lalli**  
**Instituto de Geografía, UNAM**  
[edito@geografia.unam.mx](mailto:edito@geografia.unam.mx)

**Raúl Martínez Navarro**  
**Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH)**  
**México**



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2006.

# La tecnología avanza en México, pero la brecha digital continúa

Giovanni **Maimone Celorio**

Como si se tratara de la predicción de una vieja película de ciencia ficción, la tecnología digital domina en gran medida al mundo actual, su día a día, la realidad (o virtualidad) de la existencia humana. Conceptos como ecosistema digital, economía digital, sociedad digital, comunicación digital y, por ende, inclusión digital, entre otros, se afianzan y permiten dar forma a un marco de referencia para entender a las tecnologías de la información y comunicación (TIC).

En estas tecnologías el rey es el Internet, una red que comunica al planeta o, por lo menos, a gran parte de él. Los que acceden tienen una ventaja sobre los que no, y los que no pueden acceder se quedan excluidos, exponiendo cómo, a pesar de los avances, la brecha digital sigue presente.

Un tercio de la humanidad, es decir 2,700 millones de personas, permanece fuera de línea, no puede conectarse a Internet (ITU, 2022). Esto sucede mientras se quiere cumplir en 2030 con la agenda de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que incluyen la necesidad de contar con una conectividad universal y significativa para que los individuos saquen provecho de su experiencia en línea.

Como referencias, en Corea del Sur, Reino Unido, Suecia, España, Estados Unidos y Japón, nueve de cada diez personas son usuarias de Internet, mientras que, en México, la proporción es siete de cada diez personas (INEGI, 2022).



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2005.

Precisamente con relación a México, el 75 % de la población es usuaria de Internet.

Además, el 78 % de los mexicanos mayores de seis años es usuario de telefonía celular, es decir, 92 millones de personas, de las que solo una tercera parte utiliza computadora de escritorio o de tipo portátil.

De los usuarios de celular, el 94 % posee un aparato de tipo *smartphone* o teléfono inteligente, de ahí que este sea el dispositivo preferido para conectarse a Internet, ya que casi la totalidad lo utiliza para tal fin (INEGI, 2022).

El aparato que originalmente se creó para hacer llamadas móviles desde el lugar en que se encontrase la persona, incorporó después los mensajes de texto, y aunque siguió conservando el nombre de teléfono, hoy en día es más bien una computadora portátil que "obliga" al usuario a estar conectado

a la red informática mundial, o como suele decirse coloquialmente, al ciberespacio.

Los tres principales motivos para conectarse a Internet son: 1) comunicación, 2) búsquedas de información y 3) acceso a redes sociales. El tiempo promedio nacional de uso diario por persona es de 4.8 horas; además, el 72 % de los usuarios se conecta desde su hogar (INEGI, 2022).

La descarga de aplicaciones es una de las principales actividades que realizan con sus dispositivos, ya que la mitad de los usuarios descarga *apps* en sus teléfonos inteligentes. Dentro de las aplicaciones más populares están las de mensajería instantánea como WhatsApp, Messenger y Telegram; las de acceso a redes sociales como Facebook, Instagram y Twitter; y las de acceso a contenidos de audio y video como YouTube, Spotify y Deezer (IFT, 2022).

Los medios de comunicación social-digital dominantes son los llamados en inglés *social media*,

término que no se usa en español como medios de comunicación sociales, sino más bien como redes sociales. De tal modo que cerca del 70 % de la población en el país utiliza redes sociales. WhatsApp, Facebook y Messenger son las más recurrentes. Mientras que las mujeres usan más Instagram, Snapchat y Pinterest, los hombres usan más YouTube y Twitter (IFT, 2022). Pero si se trata específicamente del consumo de contenidos audiovisuales por Internet, Youtube y Netflix son las plataformas favoritas para ver películas y series, teniendo el teléfono celular como el dispositivo que más se usa para tal efecto (IFT, 2022).

Todos estos datos exponen la fotografía del acontecer mexicano. La conectividad ha avanzado y la cobertura de la red de telefonía celular móvil es casi total, con un 97 % (ITU, 2022). Queda claro que la mayoría de las personas tiene un teléfono celular y, aun así, sigue habiendo exclusión, en este caso de tipo comunicacional y, ciertamente, tecnológica.

#### LA BRECHA DIGITAL ES EVIDENTE

La tríada que permite analizar y comprender la falta de inclusión digital total está constituida por tres elementos: el acceso, el uso y la apropiación de las TIC. El primero de estos tres niveles de brecha digital se refiere a la motivación, el equipo y las habilidades; el segundo, al tipo de dispositivos, la frecuencia, la duración y el lugar; mientras que el tercero tiene que ver con la importancia y beneficio para la vida cotidiana (Gómez *et al.*, 2018).

La brecha digital se observa entonces en un entorno multifactorial, ya que no solo es determinada por la geografía y la infraestructura tecnológica, sino por las facultades económicas de los individuos y, relativamente, con sus habilidades digitales, es decir, con su grado de alfabetización digital. Además, la edad, el sexo y la discapacidad, son variables presentes en los obstáculos para eliminar la brecha.

Con respecto a la localización geográfica en México, el 81 % de la población en zona urbana es usuaria de Internet, en tanto que solo el 56 % lleva a cabo la conexión en la rural. Asimismo, el

comparativo urbano-rural establece que, en las ciudades, más del 80 % de las personas usa el celular, mientras que en el campo son cerca del 65 % (INEGI, 2022).

Además, solo el 38 % de las unidades de producción agropecuarias utilizan alguna TIC. Entre estas tecnologías, la más utilizada es el teléfono celular con el 88 %, seguida del teléfono fijo con el 20 % y el Internet con el 8 %; después están la computadora, los sistemas de navegación satelital y las tabletas (INEGI, 2019).

Asimismo, en las zonas rurales solo el 4 % de los hogares cuenta con los tres servicios fijos en telecomunicaciones, que son telefonía fija + TV restringida + Internet; además de que el 43 % no dispone de uno solo de estos servicios. En contraste, en zonas urbanas, el 27 % de los hogares tiene los tres servicios (IFT, 2022).

Con referencia al tema económico nacional y la dificultad que puede suponer para muchas personas, los hogares de ingresos bajos tienen que gastar el 4.4 % de sus ingresos en servicios móviles de telecomunicaciones, mientras que los del sector alto solo tienen que invertir el equivalente al 1.4 % de sus ingresos para cubrir sus necesidades (IFT, 2022).

En términos de moneda corriente, ¿cuánto gasta la gente en el celular? En 2021, el 80 % de los usuarios contrató un servicio de prepago con un gasto promedio mensual de 148 pesos, y el 16 % contrató un plan de pospago, con un gasto promedio al mes de 420 pesos (INEGI, 2022).

Ya en ámbitos empresariales (IFT, 2022), solo el 23 % de las unidades económicas cuenta con equipo de cómputo. Además, únicamente el 21 % tiene servicio de Internet y solo el 4 % realiza transacciones por dicha red. Este es un ejemplo de probable desaprovechamiento, porque las propias MiPyMES (micro, pequeñas y medianas empresas) señalan que a través de Internet se pueden obtener beneficios, y que es el incremento de ventas el que perciben como el principal, seguido de la ampliación de canales de venta, la rapidez en la realización de las ventas o compras y la inclusión de *marketing* digital.

En cuanto a la edad, las diferencias también son evidentes (INEGI, 2022) ya que el grupo que mayormente usa Internet es el de las personas de 18 a 24 años, con una participación del 93 %; mientras que los habitantes mayores de 55 años son los que menos participan, con el 42 %. Este grupo es el más rezagado en el uso de las TIC y actividades en Internet, particularmente en la búsqueda de empleo en línea, capacitación, uso de redes sociales, consumo de contenidos audiovisuales gratuitos y uso de computadora (IFT, 2023). La mayoría de las personas en este grupo etario revela que no usa la tecnología porque no sabe.

La fórmula para reducir la brecha digital es multi-variada. Pasa desde la ampliación de la infraestructura hasta el factor medular personal y familiar: el ingreso económico. La imposibilidad o la carencia monetaria se reflejan en la calidad de la educación, así como en su cantidad, y con ello, en la poca oportunidad de acceder a la alfabetización digital, es decir, el conocimiento y práctica de las habilidades digitales.

La evolución de las habilidades ideales requeridas es permanente. Hace unos años bastaba con operaciones básicas en el uso del *software* y *hardware* como escribir textos, enviar correos o buscar información. Actualmente la tecnología ha incorporado campos como la inteligencia artificial, la cadena de bloques, los macrodatos, la nube, el Internet de las cosas, las aplicaciones diversas o el aprendizaje de máquina, entre otros (ITU, 2018).

De acuerdo con el trabajo de organismos internacionales, son cinco las categorías establecidas para agrupar las actividades que permiten medir las habilidades digitales de los individuos: 1) comunicación/colaboración, 2) resolución de problemas, 3) seguridad, 4) creación de contenido y 5) alfabetización en información/datos (ITU, 2022). Aquí se advierte incluso que las personas bien pueden estar usando Internet masivamente, pero sin ser capaces de beneficiarse completamente de él o, incluso, de evitar sus peligros.

## LA COMUNICACIÓN DIGITAL FAVORECEDORA DEL DESARROLLO

Uno de los métodos específicos para reducir la brecha digital es a través de la alfabetización digital. La UNESCO (2018, p. 6) define la alfabetización digital como

[...] la habilidad para acceder, manejar, entender, integrar, comunicar, evaluar y crear información de forma segura y apropiada, a través de tecnologías digitales para el empleo, trabajo decente y emprendimiento. Esto incluye competencias que son referidas como alfabetización computacional, alfabetización TIC, alfabetización informacional y alfabetización mediática.

El objetivo es mejorar las habilidades digitales de las personas para su propio beneficio, abarcando desde lo social hasta lo económico. El ecosistema digital demuestra que usar una TIC no es suficiente, porque el aprovechamiento real viene con la apropiación, cuando se es capaz de entender la tecnología para utilizarla en beneficio propio incorporada a la vida cotidiana. Con respecto a dicha apropiación, Downing (2011) advierte que cuando se incorporan las TIC en procesos de cambio social se generan escenarios de creación y expresión, siempre y cuando los sujetos las identifiquen, exploren, resignifiquen y las apropien, yendo más allá de su simple uso técnico como herramientas. Por eso, apropiar es cuando, de alguna manera, la persona puede controlar el resultado, o al menos proyectarlo. Si no, simplemente se está a disposición de lo que las TIC manden. Ahora bien, una de las prácticas más comunes para el crecimiento personal es a través de la capacitación. Por ejemplo, se ha observado que en orden de preferencia después de las películas, las series y los videos musicales, el público que consume contenidos en Internet gusta de los tutoriales (IFT, 2022), y esto se da, proporcionalmente, tanto en el ámbito urbano como en el rural. Ahí, precisamente, se puede penetrar en el mercado para “edu-info-entretener” y entonces conseguir metas específicas, como la mejora del ingreso, ya sea como empleado o como emprendedor.



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2007.

Continuando con el tema de la preparación, se ha reportado que las principales actividades entre quienes usan computadora son el entretenimiento (24 %), el trabajo (18 %), las tareas escolares (17 %), y como medio de capacitación (10 %) (INEGI, 2022).

Trabajar para favorecer el desarrollo de las habilidades digitales de las personas resulta imperativo y debe hacerse en los tres niveles de estas capacidades: básico, intermedio y avanzado (ITU, 2018). El primero incluye tareas como manejo de textos, correo electrónico o la creación de perfiles para redes sociales. El segundo abarca funciones como edición audiovisual, diseño gráfico o *marketing* digital. Y el tercero es de tipo especializado, como labores de programación, gestión de redes, macrodatos, inteligencia artificial y ciberseguridad, entre otras. Este último incluso comprende el emprendimiento digital.

La tarea no es sencilla. Son todavía 20 millones de personas en México que habitan en poblaciones inaccesibles o regiones marginadas quienes aún no

se pueden conectar a Internet (CFE, 2023). Además, la inflación, la pérdida del poder adquisitivo y la pobreza siguen vigentes. Por ejemplo, cerca de la mitad de la población de 12 a 29 años de edad se encuentra en situación de pobreza (CONEVAL, 2023).

Naciones Unidas, a través de su programa para el desarrollo (PNUD), reconoce que México es un país con una gran riqueza, fundamentado en la diversidad de las personas y sus territorios. Sin embargo, también advierte mediante su Índice de Desarrollo Humano que, en la última década, el país avanzó ligeramente en dicho índice, manteniéndose en un rango alto, pero que, a pesar del avance en las dimensiones de educación y salud, en la de ingreso se retrocedió (PNUD, 2022).

Por todo ello, es necesario establecer las condiciones que favorezcan el aprovechamiento óptimo de las TIC por parte de los habitantes y que garanticen un correcto acceso, uso y apropiación de ellas; a través de la incorporación de estrategias de alfabetización digital con objetivos claros y, sobre todo, prácticos, que permitan la superación de los problemas y promover el desarrollo social apoyado en la adecuada comunicación digital.

## R E F E R E N C I A S

Comisión Federal de Electricidad (2023). CFE Internet para el bienestar conectará con 4.5 G a 20 millones de mexicanos en poblaciones marginadas y de difícil acceso. Ciudad de México: CFE. Recuperado de: [https://www.cfe.mx/cdn/2019/Archivos/Boletines/009\\_CFE\\_Internet\\_vf.pdf](https://www.cfe.mx/cdn/2019/Archivos/Boletines/009_CFE_Internet_vf.pdf).

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2023). El CONEVAL presenta el informe de evaluación de la política de desarrollo social 2022. Ciudad de México: CONEVAL. Recuperado de: [https://www.coneval.org.mx/SalaPrensa/Comunicadosprensa/Documents/2023/COMUNICADO\\_01\\_INFORME\\_DE\\_EVALUACION\\_2022.pdf](https://www.coneval.org.mx/SalaPrensa/Comunicadosprensa/Documents/2023/COMUNICADO_01_INFORME_DE_EVALUACION_2022.pdf).

Downing JD (2011). Conceptos: Los medios radicales se intersectan con la teoría de los medios. En Pereira J y Cadavid A, *Comunicación, desarrollo y cambio social: interrelaciones entre comunicación, movimientos ciudadanos y medios* (pp. 407-508). Pontificia Universidad Javeriana y Universidad Minuto de Dios, Bogotá.

Gómez D, Alvarado R, Martínez M y Díaz de León C (2018). La brecha digital: una revisión conceptual y aportaciones metodológicas para su estudio en México. *Entreciencias: Diálogos en la sociedad del conocimiento* 6(16):47-62.



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2009.

Instituto Federal de Telecomunicaciones (2022). *Anuario Estadístico 2022*. CDMX: IFT.

Instituto Federal de Telecomunicaciones (2022). Encuesta Nacional de Consumo de Contenidos Audiovisuales 2022. CDMX: IFT. Recuperado de: [https://www.ift.org.mx/sites/all/themes/bootstrap/templates/ift-umca/files/pdfs/eramca/01reportefinalencca2022\\_vpa.pdf](https://www.ift.org.mx/sites/all/themes/bootstrap/templates/ift-umca/files/pdfs/eramca/01reportefinalencca2022_vpa.pdf).

Instituto Federal de Telecomunicaciones (2023). El IFT presenta la versión 4.0 de la calculadora interactiva de probabilidades de uso de TIC en México. Ciudad de México: IFT. Recuperado de: [https://www.ift.org.mx/sites/default/files/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/comunicado15ift\\_5.pdf](https://www.ift.org.mx/sites/default/files/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/comunicado15ift_5.pdf).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2019). Encuesta Nacional Agropecuaria 2019. Ciudad de México: INEGI / Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2019/doc/rrdp\\_ena2019.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2019/doc/rrdp_ena2019.pdf).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2022). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares 2021. Ciudad de México: INEGI. Recuperado de:

[https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/OtrTemEcon/ENDUTIH\\_21.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/OtrTemEcon/ENDUTIH_21.pdf).

International Telecommunication Union (2018). *Conjunto de herramientas para las habilidades digitales*. Ginebra: ITU.

International Telecommunication Union (2022). Digital Development Dashboard Mexico. Geneva: ITU. Recuperado de: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Dashboards/Pages/Digital-Development.aspx>.

International Telecommunication Union (2022). *Measuring Digital Development Facts and Figures 2022*. Geneva: ITU.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2022). *Informe de Desarrollo Humano Municipal 2010-2020 Una década de transformaciones locales en México*. Ciudad de México: PNUD.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2018). *A Global Framework of Reference on Digital Literacy Skills for Indicator 4.4.2*. Montreal: UNESCO Institute for Statistics.

**Giovanni Maimone Celorio**  
**Maestro en Gestión del Desarrollo Social**  
**Colegio de Postgraduados, Campus Puebla**  
**[giovannimaicel@gmail.com](mailto:giovannimaicel@gmail.com)**

# La espiritualidad en el espacio

Vicente **de Haro Romo**

El primer reto de este texto estriba en definir “espiritualidad”. Intentemos al menos una aproximación, que será necesariamente breve y relativa. Espiritualidad es la condición de lo espiritual, dice el diccionario de la RAE, y lo espiritual remite a un ser inmaterial dotado de razón, a un alma racional, a un principio generador, un carácter íntimo, esencia o sustancia de algo; pero también al vigor, el ánimo, la vivacidad, el ingenio... e incluso a los vapores que exhalan ciertos licores y a ciertos fluidos sutiles que en la Edad Media se asumía que determinaban los movimientos del cuerpo (Cf. RAE, 2011).

Evidentemente, con tantas y tan diversas acepciones, el diccionario no nos resulta de especial ayuda en este caso. Y es que la palabra espíritu, procedente del latín *spiritus* y equivalente al griego *pneuma*, tiene una historia de transformaciones interesantes; historia en la cual por distintos motivos el término pasó de referir a algo material (un “vapor formado de aire y fuego”, decían los antiguos estoicos, por ejemplo) a denotar lo más inmaterial y divino (en las escrituras judeocristianas, cruciales en la resignificación del término, *pneuma* es “el principio de la vida superior según Dios”, en oposición a las pasiones del cuerpo; Dios mismo es espíritu que está sobre las aguas en Génesis 1, 2 y espíritu de libertad en la segunda carta a los corintios de Pablo, entre otras menciones importantes, como la muy destacada sobre el Espíritu Santo, *agios pneuma*) (Cf. Fabro, 1982).



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2009.

## LO ESPIRITUAL EN FILOSOFÍA

Recogeremos algunos elementos de esta acepción de "espíritu" cuando tratemos de la experiencia extrema que se ofrece a los astronautas y en alguna medida también a otros participantes de la exploración espacial. Pero acerquémonos a ello paulatinamente. También podríamos aprovechar la mediación que ofrecen algunos de los grandes filósofos de la historia que han utilizado el concepto de espíritu. Seguramente el que lo ha hecho de modo más sistemático y notorio es el célebre pensador alemán Georg Wilhelm Friedrich Hegel (que vivió de 1770 a 1831), autor de uno de los libros más importantes y más oscuros en la historia de la filosofía: *la Fenomenología del espíritu*, de 1807. Sin pretender agotar el tema, lo cual sería llanamente imposible, quiero dejar anotado que, para Hegel, el espíritu es Dios, pero es también la esencia misma

del universo considerada tanto en su dinamismo como en su unidad y también –y esto quiero subrayarlo– el espíritu en Hegel es la comunidad de los seres humanos, la humanidad en sí. Dejemos de lado el debate sobre el discutido panteísmo de Hegel. Quiero más bien con esto enmarcar una de sus frases más bellas, aquella donde afirma que el espíritu es "el yo que es el nosotros y el nosotros que es el yo". (PG 147) Espíritu, para este gran filósofo, significa al mismo tiempo a Dios y lo divino en el ser humano y también a la comunidad humana.

## LO ESPIRITUAL EN LA EXPLORACIÓN ESPACIAL

¿Qué tiene qué ver todo esto con los viajes al espacio y con la exploración espacial? Frank White, en un influyente texto del 2014, *The Overview Effect: Space Exploration and Human Evolution*, publicado por el American Institute of Aeronautics and Astronautics, afirmó que ver el planeta Tierra desde el espacio genera usualmente un sentimiento de conexión con

Dios y con la Humanidad que él bautizó precisamente como *overview effect* (suele traducirse como “efecto perspectiva”).

El astronauta experimenta, según lo que White pudo aprender de una serie de entrevistas, de manera acentuada su conexión con la vida del planeta; aprecia especialmente la belleza de la esfera azul y su carácter único y se siente comprometido a protegerla. Igualmente, sugiere este autor (que se autodenomina, por cierto, un “filósofo del espacio”) el astronauta percibe como absurdas las divisiones y conflictos entre nacionalidades y grupos humanos y tiene una particular apreciación de la humanidad como un todo (Cf. White, 2014). Desde el espacio no se ven fronteras ni banderas, como es sabido que admitió el coronel Worden cuando se le dio una bienvenida oficial gubernamental como parte de la tripulación del Apolo XV.

La primera relación que quiero establecer es ahora evidente: lo que en la tradición religiosa central de Occidente –y por tanto también en Hegel– quiere decir “espíritu” (conexión con la divinidad, con el cosmos y entre los seres humanos) no queda nada lejos del efecto señalado por White. Que el espíritu es un yo que es un nosotros y un nosotros que es un yo es particularmente cierto en la persona del astronauta, que viaja al espacio en nombre de la humanidad y a la vez percibe la unidad de esta misma humanidad de una manera extraordinaria.

En esta misma línea de pensamiento, Mahdu Thangavelu, director del Space Exploration Architecture Concept Synthesis Studio en la Universidad del Sur de California, ha escrito que

[...] la actividad humana en el espacio ofrece un lugar importante para explorar el potencial de las relaciones significativas entre la ciencia y la religión –o al menos la ciencia y la espiritualidad. (Thangavelu, 2011)

y agrega que puede llamarse espiritualidad con pleno derecho el asombro que los exploradores espaciales “sienten cuando se exponen a los secretos de la naturaleza y a nuevas dimensiones de la experiencia humana”. Thangavelu se refiere

reiteradamente de la experiencia en el espacio como “un despertar espiritual” (Thangavelu, 2011).

Esta dimensión de la experiencia espacial es tan interesante y tan fecunda que hoy existen organismos como *The Overview Institute*, institución dedicada a tratar de transmitir ese sentimiento de unidad generado por los viajes al espacio para mejorar las relaciones sociales. Este instituto está particularmente inspirado por el testimonio de Jake Garn, que orbitó la Tierra en el transbordador Discovery en 1985 y ha insistido en los cambios espirituales que le suscitó mirar el planeta entero suspendido en el espacio.

En este sentido existen también testimonios de Edgar Mitchell (tripulante del Apolo), Rusty Schweickart (que orbitó la Luna), Gene Cernan (undécimo hombre en la Luna) y el particularmente enfático de James Irwin (octavo hombre en la Luna), entre otros. Todos ellos hablan de conversiones espirituales a partir de la experiencia espacial. Como es comprensible y esperable, algunos de ellos interpretaron la experiencia desde sus creencias religiosas previas y han dirigido sus discursos y activismo en ese sentido; algunos incluso se han radicalizado. Todos, sin embargo, han afirmado que la experiencia en el espacio les ha hecho más humildes y reflexivos.

Es en busca de esta clase de testimonios que, más recientemente, la antropóloga social Deana L. Weibel emprendió una serie de entrevistas: sostuvo 14 con nueve astronautas, y 37 más con diversos participantes en el programa espacial, todo ello entre 2004 y 2020. A partir de este trabajo, Weibel confirmó el “efecto perspectiva” del que había tratado White: ella lo relaciona con el hecho de que el espacio mismo, las estrellas y los planetas, forman parte de lo que Timothy Morton ha llamado “hiperobjetos”, objetos de percepción que por sus dimensiones y rasgos espaciotemporales se presentan como inabarcables, indomeñables, ante el juicio del ser humano (Cf. Weibel, Deana L., 2020). Weibel también recoge la idea de Valerie Olson de que, de alguna manera, el ambiente del espacio

exterior es no-natural para el ser humano; es, incluso, en cierto sentido sobrenatural y por ello la connotación de lo sagrado es inevitable (Cf. Olson, Valerie, 2018).

Weibel evoca finalmente a los lingüistas George Lakoff y Mark Johnson, que en su célebre trabajo *Metaphors We Live by* (el libro se publicó en castellano como *Metáforas de la vida cotidiana*) (Cf. Lakoff, George and Mark Johnson, 1981), explican como insuperable la relación metonímica entre, por un lado, lo sagrado y divino, y por otro, el espacio exterior, metonimia fundada en el concepto mismo del “cielo”.

Todo ello, argumenta Weibel, consolida la dimensión espiritual del *overview effect*. Pero ella incluso se atreve a proponer que debemos distinguir otro efecto espiritual de la experiencia espacial: ella habla del *ultraview effect*, que se distingue del anterior porque este suscita ante todo un sentimiento de limitación, de incompreensión e incluso de autodisminución ante la vastedad del universo. (Cf. Weibel, Deana L., 2020).

Podríamos relacionar esto, agrego yo, con lo que en la tradición filosófica llamamos “ignorancia socrática”, que es a la vez una forma de “sabiduría socrática”: la sabiduría que consiste en reconocer que no se sabe casi nada. Weibel sugiere que, si el efecto perspectiva se da usualmente ante la mirada del planeta Tierra suspendido en el espacio, el efecto de “ultravista” es más común ante el espectáculo de conglomerados de estrellas, sin la distorsión y titilación que provoca la atmósfera terrestre, como cuando se mira la Vía Láctea desde la órbita de la Luna. Weibel dice que, en las condiciones adecuadas, se pueden mirar desde el espacio diez veces más estrellas con colores diez veces más brillantes (Cf. Weibel, Deana L., 2020), y que es esto lo que genera esa reacción de incompreensión, de anodamiento, que ella propone distinguir del efecto espiritual antes tematizado por White.

Me pregunto si no contamos en la tradición filosófica y científica con algún concepto que pueda resumir lo que pasa espiritualmente en los

astronautas en ambos contextos –el del *overview effect* y el del *ultraview effect*. Quiero sugerir que sí, y que se trata del concepto filosófico de lo sublime.

## LO SUBLIME EN EL ESPACIO

El concepto de lo sublime se remonta a un tratado del retórico griego Longino, en el que refiere más bien a un cierto estilo elevado en el lenguaje. Obsérvese que un lenguaje muy elevado puede ser bello, pero al mismo tiempo es doloroso, en tanto genera incompreensión. Después, el concepto de lo sublime pasaría por una asimilación mística en la tradición posterior. Hacia el siglo XVIII, en el empirismo, se retomó con particular profundidad el concepto, se separó de la belleza y se aplicó el apelativo de sublime de modo muy particular a la infinitud de la naturaleza.

Esto nos lleva hasta Immanuel Kant (1724-1804), que es en quien quiero detenerme por unos momentos, porque es el que más luz puede arrojar para estos efectos. La especial referencia a Kant puede quedar también justificada si recordamos que, además de ser el mayor filósofo de la Edad Moderna, este autor hizo también aportes a la astronomía, en cuanto en su libro de juventud de 1755 titulado *Historia general de la naturaleza y teoría del cielo* propuso la teoría explicativa de la formación de sistemas planetarios a partir de nebulosas que después confirmarían Herschel y Laplace. Se trata de un autor, pues, que fue capaz de aportar al conocimiento astronómico.

Para Kant, lo sublime se distingue claramente de lo bello, pues si lo bello es aquello armónico que suscita en nosotros un libre juego de nuestras facultades, una particular sensación de la plenitud de la propia vida, en cambio el sentimiento de lo sublime implica una disarmonía, una desproporción, un contraste o incomodidad inevitable.

Ante un espectáculo natural sublime (como una tormenta en el mar, una montaña enorme, un gran acantilado) la imaginación se constata incapaz de abarcar la grandeza en magnitud y en poder de la naturaleza, que por tanto resulta abrumadora, y ello choca con el alcance de la razón, que nos permite



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2007.

a pesar de todo pensar y tematizar la naturaleza y experimentarnos libres y únicos ante ella. El sentimiento de lo sublime es, para Kant, un sentimiento complejo, pues implica a la vez el displacer de la inadecuación entre la naturaleza y nuestras facultades cognoscitivas y, por otro lado, el placer de ser una criatura dotada de una razón que se hace cargo de esa inadecuación como ninguna otra fuerza de la naturaleza misma puede hacerlo (Cf. Kant, Immanuel, 2011).

Por ese contraste o carácter doble de lo sublime, que suscita a la vez dolor y placer, lo sublime

es también estructuralmente análogo del respeto, que para Kant es el sentimiento moral que debe regir sobre las relaciones entre los seres humanos. El respeto también complejo y ambivalente: la dignidad de las personas tiene un efecto elevador, en tanto somos capaces de determinarnos autónomamente a respetarla, y a la vez uno doloroso, en tanto humilla nuestras inclinaciones egoístas (Cf. Kant, Immanuel, 2005a). Así, el sentimiento de lo sublime no es solo lo correspondiente a la vastedad del universo material, sino también una referencia indirecta a nuestro universo moral.

Pienso que el sentimiento de lo sublime, así explicado, resume lo que Weibel proponía desglosar en dos efectos distintos. Por un lado, decir que el espectáculo del espacio exterior es sublime refleja nuestra incompreensión y limitación ante la infinitud y el misterio del universo (ahí el *ultraview*

*effect*), y por otro, esa experiencia de sublimidad también hace justicia a nuestra capacidad racional, a través de la cual nos sentimos conectados con el cosmos, con nuestra propia especie, con nuestro propio planeta y también usualmente con una dimensión trascendente o divina (ahí tenemos el *overview effect*). Esta relación que propongo entre los efectos *ultraview* y *overview* y el sentimiento de lo sublime enlaza otras experiencias (como las ya mencionadas ante una tormenta o una majestuosa montaña) con las de mirar el planeta o la galaxia desde el espacio, sin perder lo específico de estas



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2016.

últimas, que mantienen un carácter extraordinario, no solo a nivel emocional, sino en cuanto al contenido que ofrecen a la reflexión.

#### EL CIELO ESTRELLADO SOBRE MÍ

Quizá el pasaje más bello y más citado del extenso corpus filosófico de Kant (de hecho, de este pasaje hay una frase transcrita en su epitafio) se refiere a la experiencia de lo sublime haciendo alusión precisamente a la visión del cielo estrellado. Se trata de las primeras líneas de las conclusiones de la *Crítica de la razón práctica*, de 1788.

Cito algunas líneas para comentarlas brevemente:

Dos cosas llenan el ánimo de admiración y veneración siempre nuevas y crecientes, cuan mayor es la frecuencia y persistencia con que reflexionamos en ellas: el cielo estrellado sobre mí y la ley moral dentro de mí [...] La primera comienza en el lugar que ocupo en el mundo externo de los sentidos y extiende la conexión en que me encuentro hacia dimensiones inmensas con mundos sobre mundos y de sistemas

de sistemas, y además hacia los tiempos ilimitados de su movimiento periódico y de su comienzo y duración. La segunda comienza en mi yo invisible, en mi personalidad y me exhibe en un mundo que tiene verdadera infinitud pero que sólo el entendimiento puede percibir y con el cual (y por tanto también con todos esos mundos visibles) me reconozco en una conexión no sólo accidental, como en aquel, sino universal y necesaria." (Kant, Immanuel, 2005; la referencia canónica de este texto, según la numeración de la Academia Alemana de las Ciencias, es KpV 161-162).

Acá aparece la relación entre los sentimientos de, por un lado, lo sublime (generado por el cielo estrellado sobre mí) y por el otro, del respeto (por la ley moral en mí). Y puede entenderse cómo Kant contempla que las dimensiones y conexión interna del Universo, el carácter que hoy llamamos de "hiperobjetos" de los astros y las magnitudes del espacio y el tiempo anonadan al individuo humano, que se siente en una conexión solo accidental y contingente en semejante escenario, pero a la vez, en este ser humano se reconoce un valor especial porque él puede pensar ese cosmos.

Sigo citando:

El primer espectáculo de una cantidad inconstante de mundos anula, por así decirlo, mi importancia como criatura animal que tiene que restituir al planeta (un mero punto en el universo) la materia de la que se formó, después de haber estado provista por un breve tiempo (no se sabe cómo) de fuerza vital. El segundo espectáculo, en cambio, eleva infinitamente mi valor como inteligencia mediante mi personalidad [...] (Kant, Immanuel, 2005b; KpV 161-162).

Me parece que el contraste que se describe en estas líneas es precisamente el marco de la experiencia espiritual que ofrecen la contemplación del universo y, concretamente y de modo intensificado, las experiencias en el espacio exterior de aquellos representantes de la humanidad que pueden acceder a ellas. El astronauta puede, como diría otro filósofo destacado de la modernidad, Blaise Pascal, experimentar al máximo la miseria y la grandeza del ser humano, que es tan solo una caña, pero una caña pensante. Cito brevemente a Pascal: “En cuanto al espacio, el universo me comprende y devora como un punto. Pero, por el pensamiento, yo comprendo al universo.” (Pascal, Blaise, 2015, No. 348).

Creo que no es exagerado afirmar que esta experiencia de contraste es al menos una de las puertas de acceso a lo que conocemos como espiritualidad humana. Ciencia y espiritualidad no están, pues, divorciadas; de hecho, nunca lo han estado en las mentes de los grandes pensadores o científicos. El impulso a la exploración espacial puede mostrarse, así como humanamente enriquecedor en múltiples sentidos, y entre ellos están sin duda también el sentido espiritual y otros que el sentido espiritual necesariamente abarca e interpela, como el psicológico, el moral y el social.

## NOTAS

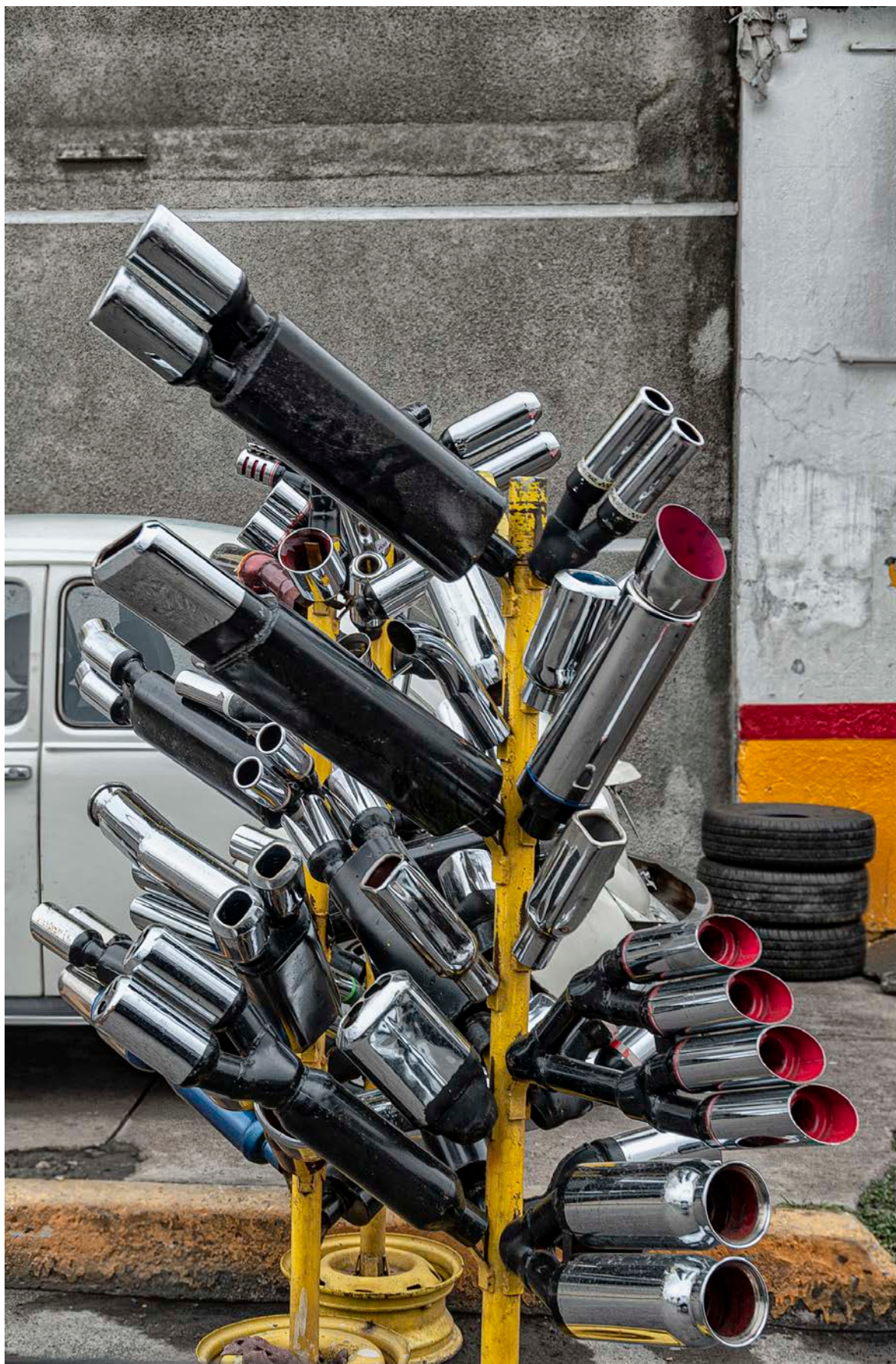
<sup>1</sup> Este artículo surge de una ponencia que el autor impartió en el 8º. Congreso Internacional de Medicina y Salud Espacial, organizado

por la Facultad de Medicina de la UNAM, la Academia Nacional de Medicina y la Agencia Espacial Mexicana.

## REFERENCIAS

- Dallas K (2019). Astronaut Jake Garn and the Spiritual Effects of Viewing Earth from Outer Space. Recuperado de: <https://www.deseret.com/2015/7/24/20568940/jake-garn-sutherland-institute-space-astronauts#last-monday-nasa-released-its-newest-photo-of-the-earth-from-outer-space-taken-july-6-by-the-dscover-space-craft-which-is-located-1-million-miles-away-from-our-planet>
- Esch M (1972). Spiritual Impacts of the Space Program on the World. Recuperado de: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19730005109>.
- Fabro C (1982). *Introducción al problema del hombre (la realidad del alma)*. Madrid: Rialp.
- Hegel GWF (2017). *Fenomenología del espíritu*. Traducción de W. Roces, reeditada por Gustavo Leyva. México: FCE.
- Kant I (2005). *Crítica de la razón práctica*. Traducción de Dulce Ma. Granja. México: FCE-UAM-UNAM.
- Kant I (2007). *Crítica del Juicio*. Traducción de Manuel García Morante. Madrid: Tecnos.
- Kant I (2011). *Observaciones sobre el sentimiento de lo bello y lo sublime*. Traducción de Dulce Ma. Granja. México: FCE-UAM-UNAM.
- Real Academia Española (2011). Espíritu. Recuperado de: <https://dle.rae.es/esp%C3%ADritu>, consultado el 17 de octubre de 2022.
- Lakoff G and Johnson M (1981). *Metaphors We Live By*. Chicago: University of Chicago Press.
- Olson V (2018). *Into the Extreme U.S. Environmental Systems and Politics beyond Earth*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- O'Neill I (2008). The Human Brain in Space: Euphoria and the “Overview Effect” Experienced by Astronauts. Recuperado de: <https://www.universetoday.com/14455/the-human-brain-in-space-euphoria-and-the-overview-effect-experienced-by-astronauts/>.
- Pascal B (2015). *Pensamientos*. México: Porrúa, No. 348.
- Thangavelu M (2011). Opinión: Los viajes al espacio son una experiencia espiritual. Recuperado de: <https://expansion.mx/opinion/2011/07/07/opinion-los-viajes-al-espacio-son-una-experiencia-espiritual>.
- Weibel DL (2020). “The Overview Effect and the Ultraview Effect: How Extreme Experiences in/of Outer Space Influence Religious Beliefs in Astronauts”, *Religions* 11(8):418.
- White F (2014). *The Overview Effect: Space Exploration and Human Evolution*. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics.

**Vicente de Haro Romo**  
**Universidad Panamericana, campus México**  
[vharo@up.edu.mx](mailto:vharo@up.edu.mx)



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2006.

# Industria 4.0

## Camino hacia una economía circular

**César Ramírez-Márquez**  
**José María Ponce-Ortega**  
**Juan Gabriel Segovia-Hernández**

Cuando se piensa en el progreso humano, es inevitable tener en mente el concepto de tecnología. La tecnología se puede definir como una respuesta a la aspiración humana de transformar su entorno y mejorar su calidad de vida. En pocas palabras, la tecnología tiene la finalidad de satisfacer necesidades a través del conocimiento estructurado. En algunos casos, el desarrollo de nuevas tecnologías ha marcado un punto de inflexión para el progreso humano. Estos puntos de inflexión son conocidos como revoluciones industriales.

El ser humano ha experimentado, hasta el día de hoy, cuatro revoluciones industriales, cada una incitada por tecnologías que provocaron una evolución del mundo, en diferentes épocas y contextos. Hay que recordar que la primera revolución industrial inició a mediados del siglo XVIII, y que la base tecnológica que originó dicho desarrollo fue la máquina de vapor propulsada por carbón mineral. Esto cedió terreno para que, tanto las viejas herramientas como el trabajo humano y animal, fueran sustituidos de manera radical, ocasionando la creación de centros industriales masificados y fortaleciendo el modelo tradicional denominado economía lineal. La economía lineal tiene como ideología un modelo de consumo rápido, es decir, producir y luego desechar, sin tener en cuenta el impacto ambiental

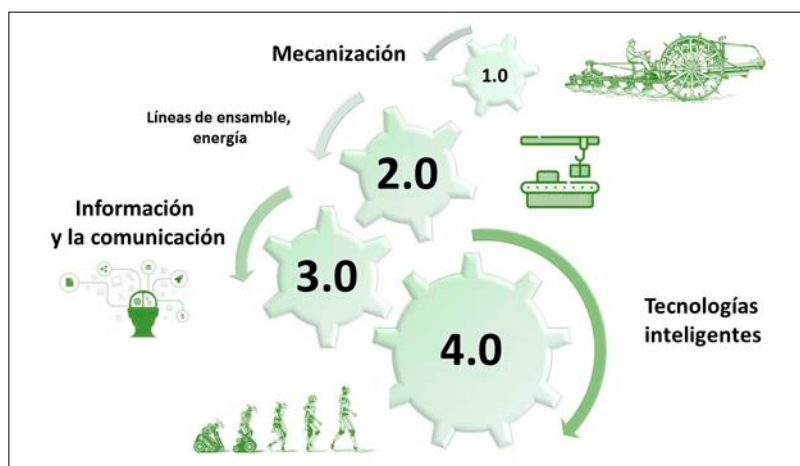


Figura 1. Las cuatro revoluciones industriales.

y sus consecuencias. Se puede considerar que la primera revolución industrial marcó un antes y un después en la historia de la humanidad, puesto que sus efectos, buenos y malos, los seguimos viendo hasta la actualidad (Popkova *et al.*, 2019).

La segunda revolución industrial surge a mediados del siglo XIX, extendiéndose hasta la segunda década del siglo XX. Sin duda, uno de los mayores impulsores de esta segunda revolución fue el desarrollo de la Primera Guerra Mundial. Los medios de transporte (en particular el ferrocarril), junto con nuevas formas de energía, el telégrafo, el teléfono y el cine, simbolizarían las tecnologías pilares de esta segunda revolución. Todas ellas, tecnologías que abonarían aún más al concepto de economía lineal, puesto que se priorizó el beneficio económico sin considerar la sostenibilidad, ya que los productos se fabricaron con la finalidad de ser usados y tirados a la basura.

Posteriormente, en la segunda mitad del siglo XX surge lo que conocemos como la tercera revolución industrial. Esta revolución se relaciona de manera estrecha con las tecnologías de la información y la comunicación. Aparecen elementos como el internet, que abrió brechas a la interactividad e intercomunicación. El desarrollo de elementos de informática como las computadoras, además de la aparición de nuevas energías renovables, también

son parte de dicha revolución. Período en el que la economía lineal sobresale como un elemento nocivo para la conservación del medio ambiente, y resurge el concepto de economía circular. Esta nace esencialmente para enfrentar el derroche consumista y evitar la sobreexplotación de los recursos naturales. La economía circular está encaminada a disminuir el impacto de los recursos mediante la reducción de la producción al

mínimo posible. Apoyando la regla de las tres “R” (Reducir, Reciclar y Reutilizar). Es importante señalar que el concepto de la economía circular no es nuevo, desde la antigüedad se encuentran vestigios de la reutilización de elementos cotidianos, como las hachas de mano para elaborar herramientas, o el reuso de la arcilla cruda para nuevas piezas de cerámica (Melnyk *et al.*, 2019).

La economía circular, a lo largo de la historia, con los grandes avances tecnológicos, masificación en la producción y hasta cierto punto desinterés en la conservación de los recursos naturales y del planeta, se fue haciendo a un lado. No obstante, hoy en día lo vemos como una opción para cuidar nuestro presente y preservar nuestro futuro. Tratándose de un medio que tiene por objetivo reducir el impacto del ser humano en los recursos naturales, resultado del consumismo frenético de la actualidad. Parece que la economía circular podría ser una solución para una de las problemáticas actuales más importantes, pero ¿cómo implementarla de manera masiva?

Y es aquí donde la cuarta revolución industrial, también conocida como la revolución industrial 4.0, se encamina para conseguir dicho propósito. El concepto de la industria 4.0 es aún novedoso, puesto que se origina en la segunda década del siglo XXI. La industria 4.0, en esencia, combina técnicas vanguardistas de producción y operación con tecnologías inteligentes que se integrarán a

las organizaciones, las personas y los activos. El pilar de la industria 4.0 es sin duda la innovación para generar una adaptabilidad a las necesidades de producción y, por ende, concebir una mejora en la eficiencia de los recursos. Es decir, generar de manera inherente la economía circular en los procesos de producción masivos. Esto, sin duda, requiere el uso de sistemas y tecnologías inteligentes que puedan tener interconectividad, que puedan operar de manera autónoma, y que optimicen de forma horizontal cualquier proceso (Rajput & Singh, 2019). Con el fin de tomar decisiones inteligentes se deben gestionar y administrar los recursos y generar un ambiente de cero residuos.

#### UNA CONEXIÓN INHERENTE ENTRE LA INDUSTRIA 4.0 Y LA ECONOMÍA CIRCULAR

La robótica, la inteligencia artificial, tecnologías cognitivas, el internet de las cosas, la nanotecnología, la analítica de datos, entre otras tecnologías, son elementos fundamentales para la Industria 4.0. Dichas tecnologías tienen la virtud de proporcionar datos en tiempo real, lo cual se traduce en decisiones efectivas y en el estímulo de acciones y cambios en el mundo físico y, por ende, con la economía circular. Pero ¿por qué existe una conexión inherente entre la Industria 4.0 y la economía circular? Para ello es primordial entender que la industria 4.0 no solo tiene el potencial de afectar a los procesos de fabricación, sino inclusive permea a sectores sociales. Es evidente que la Industria 4.0 conducirá a productos y servicios completamente nuevos, es decir, se permitirá perfeccionar los productos de varias maneras, desde la creación de los prototipos y pruebas, hasta la incorporación de conectividad a productos anteriormente desconectados (Mavropoulos & Nilsen, 2020).



Figura 2. Economía Circular vs Economía Lineal.

Lo anterior mejora tanto el proceso que se genera desde que el cliente realiza un pedido, hasta que el producto o servicio ha sido entregado y cobrado (lo que se conoce como cadena de suministro), como las operaciones de negocio y el crecimiento de los ingresos. Esto genera de manera inminente impacto en diversos sectores, pero de manera enfática en la práctica de la economía circular, puesto que un cambio en la manera en que las empresas operan, y en la producción de bienes, sin duda estrecha ambos conceptos. Ahora bien, existen elementos que los vinculan, el primero es que ambos buscan evitar la pérdida de valor de los productos y la reducción de los desechos; el segundo es conseguir el potencial de recuperación del valor económico de los desechos, es decir, revalorizar lo que se cree que son desperdicios (hay valor económico que no está siendo aprovechado en los desechos). Y por último, el tercer elemento es generar concordia entre el ser humano y la tecnología, situando el factor humano otra vez en el centro del proceso productivo (Cesarino *et al.*, 2019).

Con todo lo expuesto, se concluye que las posibilidades de que las tecnologías emergentes (Industria 4.0) puedan desarrollar procesos inherentemente vinculados con la economía circular son altamente latentes, puesto que la Industria 4.0 ofrece la oportunidad de crear un impacto positivo en la



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2007.

eficiencia de las empresas, poniendo la tecnología al servicio de este nuevo modelo económico que apela por la reducción de los residuos, del consumo energético y del impacto ambiental, al igual que la economía circular. Además, hay que recordar que la sostenibilidad es un concepto interrelacionado con la economía circular y con la Industria 4.0, la cual busca el bienestar de las generaciones actuales sin complicar las necesidades de las generaciones futuras, mientras que se responde por equilibrio entre el crecimiento de la economía, el respeto al medioambiente y el bienestar social. Con ello se manifiesta que, tanto la Industria 4.0, como la economía circular, buscan abonar a la transformación de nuestro mundo, lema de la Agenda 2030 (ONU), favoreciendo un desarrollo sostenible e igualitario.

## REFERENCIAS

Cezarino LO, Liboni LB, Stefanelli NO, Oliveira BG and Stocco LC (2019). Diving into emerging economies bottleneck: Industry

4.0 and implications for circular economy. *Management Decision* 59(8):1841-1862.

Mavropoulos A and Nilsen AW (2020). Industry 4.0 and circular economy: Towards a wasteless future or a wasteful planet? John Wiley & Sons.

Melnyk LH, Kubatko OV, Dehtyarova IB, Dehtiarova IB, Matsenko OM and Rozhko OD (2019). The effect of industrial revolutions on the transformation of social and economic systems. *Business Perspectives* 17(4):381-391.

Popkova EG, Ragulina YV and Bogoviz AV (2019). Fundamental differences of transition to industry 4.0 from previous industrial revolutions. In *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century* (pp. 21-29). Springer, Cham.

Rajput S and Singh SP (2019). Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management* 49:98-113.

**César Ramírez-Márquez**

**José María Ponce-Ortega**

**Departamento de Ingeniería Química**

**Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

**[cerama@hotmail.es](mailto:cerama@hotmail.es)**

**Juan Gabriel Segovia-Hernández**

**Departamento de Ingeniería Química**

**Universidad de Guanajuato**

# Pletodóntidos: ¿quiénes son y dónde viven?

Enrique A. **Cante-Bazán**  
Aurelio **Ramírez-Bautista**



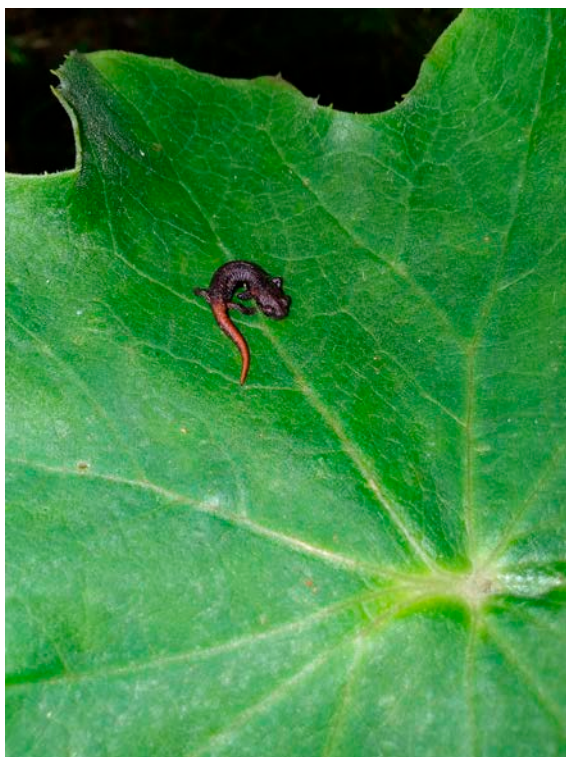
**Figura 1.** Calate, *Rheohyla miotympanum* (arriba). Tlaconete pinto, *Isthmura bellii* (abajo).

Frágil y apacible, oculta en el bosque permanece la salamandra, reposando ante el inquietante y frío mur-muro de la noche.

Así como los anuros (ranas y sapos) y los gimnofiones (ce-cilias), los caudados (salamandras) pertenecen a la clase Amphibia. Sin embargo, a diferencia de los primeros dos órdenes, las salamandras desarrollan una cola bien defi-nida que las acompañará durante toda su vida (Figura 1). Los miembros de este grupo se caracterizan porque evo-lutivamente han desarrollado una piel lisa, húmeda y per-meable, que les permite intercambiar gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) y agua con su entorno. Además, algunas especies de sala-mandras, a diferencia de otros vertebrados, no tienen pul-mones desarrollados: isolo respiran a través de los poros de su piel! (Wells, 2007).

Los hábitos de estos anfibios varían ampliamente, pero su actividad es principalmente nocturna, y como criaturas ectotérmicas dependen en gran medida de la temperatura y la humedad ambiental para mantenerse hidratados.

Generalmente habitan en medios templados, como los bosques de coníferas (ej. pinos, abetos y cedros), donde pueden utilizar microhábitats terrestres, arbóreos, semia-cuáticos o acuáticos (agua dulce); refugiarse en monton-es de hojas caídas, debajo de troncos caídos, debajo de



**Figura 2.** Algunos pletodóntidos suelen utilizar las hojas y ramas de las plantas disponibles para perchar (arriba); y muchos de ellos se desplazan a través de la hojarasca húmeda para realizar sus actividades (abajo).

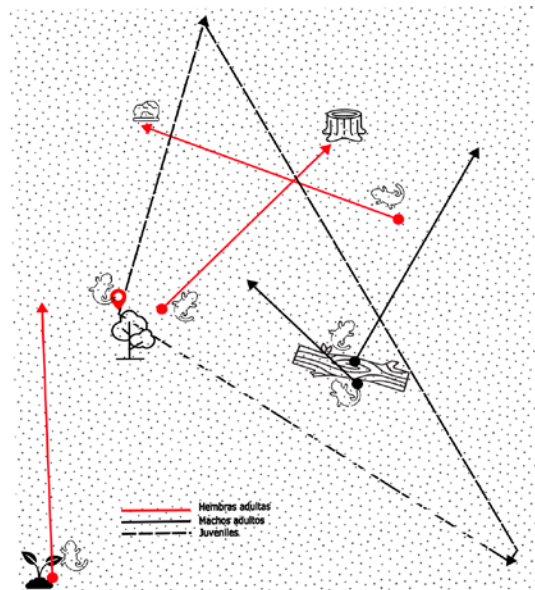
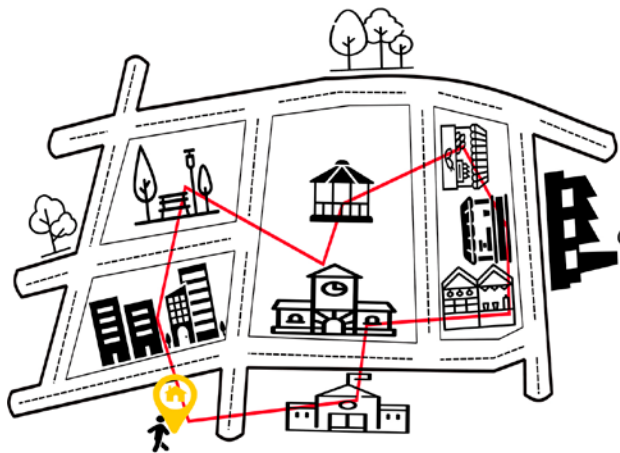
rocas, en la base de los árboles, sobre las hojas de las plantas o entre los remanentes de los árboles talados (Figura 2).

Algunas especies incluso han desarrollado hábitos trogloditas, lo que significa que están adaptadas a vivir exclusivamente en cuevas, por ejemplo la salamandra de cola manchada (*Eurycea lucifuga*) que habita en cuevas en la región de los Apalaches de los Estados Unidos de América.



**Figura 3.** Tlaconetes, salamandras, o también conocidos en el ámbito científico como urodelos, estos anfibios presentan diversas características, por lo que son agrupados en diferentes familias. Ajolote del altiplano (*Ambystoma velasci*), familia Ambystomatidae (arriba). Tlaconete del Pico de Orizaba (*Pseudoeurycea gadovii*), familia Plethodontidae (abajo).

Actualmente se conocen aproximadamente 800 especies de salamandras, agrupadas en nueve familias. Una de las más populares es la familia Ambystomatidae (Figura 3), cuyo miembro más representativo es el ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*). Sin embargo, la familia Plethodontidae es la más grande y diversa de todas, con cerca de 500 especies descritas en todo el mundo (Frost, 2022). Los pletodóntidos se distribuyen principalmente en las regiones templadas del norte del mundo, pero algunos se han diversificado en los trópicos, por lo que se pueden encontrar en el este de Asia, Europa, América del Norte, América Central y América del Sur. Aunque la mayor diversidad de salamandras se concentra en Estados Unidos, con 182 especies conocidas. México posee el mayor número de pletodóntidos del mundo, según el catálogo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), con 139 especies. Además, muchas de



**Figura 4.** Las secciones del hábitat que un animal utiliza de forma cotidiana para realizar sus actividades se conocen en ecología como ámbitos hogareños. Son representados en forma de polígonos que muestran el área usada habitualmente. En una persona sería equivalente al área que abarcan los sitios utilizados con frecuencia en el lugar en que vive, por ejemplo, su casa, el trabajo, la escuela o el supermercado (izquierda). En las salamandras serían los sitios donde encuentra alimento, parejas o refugios (derecha).

estas son endémicas, es decir, solo se encuentran en esta región, por lo que, representan un grupo de gran importancia para la conservación a nivel nacional y mundial.

#### MOVILIDAD Y ÁMBITOS HOGAREÑOS

La mayoría de las salamandras pletodóntidas son pequeñas, pero su tamaño puede variar dependiendo de la especie. Por ejemplo, la salamandra chinanteca de árbol es de talla pequeña, alrededor de unos 2 cm de largo, sin considerar la cola; otras, como el tlaconete dorado, son de talla mediana, de 6 cm y otras, como la salamandra de vientre negro, superan los 10 cm. Debido a su tamaño y necesidad de lugares frescos y húmedos para vivir, los ámbitos hogareños de los pletodóntidos son muy pequeños en comparación con otros vertebrados, incluso con otros anfibios, como las ranas. Ejemplo de esto son la salamandra de vientre negro, cuyo ámbito hogareño es de apenas 0.12 m<sup>2</sup> (Camp y Lee, 1996) y el tlaconete dorado que abarca áreas de 1.27 m<sup>2</sup> (Cante-Bazán, 2022) (Figura 4).

Entre las salamandras con ámbitos hogareños grandes, podemos encontrar a la salamandra de los Apalaches del sur que ocupa un área de 14 m<sup>2</sup>

(Merchant, 1972) y la salamandra parda del norte que puede llegar a ocupar un área de 23.7 m<sup>2</sup> (Barbour *et al.*, 1969).

Estas características están relacionadas con su modo de locomoción; a diferencia de los anuros que poseen extremidades largas y fuertes que les permiten desplazarse mediante saltos, los pletodóntidos tienen patas cortas y se desplazan a través de pasos pequeños y lentos. Son organismos muy fieles a los microhábitats que utilizan, se mueven poco y sus movimientos diarios son generalmente cortos. Se ha documentado que algunas especies como la salamandra de lomo rojo y el tlaconete dorado, se mueven alrededor de 50 cm por día (Kleeberger y Werner, 1982; Cante-Bazán, 2022).

Sin embargo, no significa que las salamandras no sean capaces de desplazarse más; si la situación lo requiere pueden dejar su ámbito hogareño original para establecerse en otro lugar. Experimentos prueban su capacidad para reconocer y regresar a sus hogares; también se documenta que pueden viajar distancias de hasta 90 m en 13 días. Otras más, como la salamandra ensatina, pueden llegar a moverse hasta 120 m entre el sitio de captura inicial

y el sitio de recaptura más lejano, en un intervalo de 400 días (Staub, Brown y Wake, 1995). Lo anterior hace que los expertos consideren a este grupo como sedentario.

## PERSPECTIVAS

Como cualquier otro anfibio, los pletodóntidos juegan un papel importante en las redes ecológicas de los bosques en los que habitan (Davic y Welsh, 2004). Representan una cantidad importante de energía y favorecen el intercambio de biomasa al convertirse en un puente entre los ecosistemas acuáticos y terrestres.

Ayudan a regular las comunidades de invertebrados al alimentarse de colémbolos, coleópteros y arácnidos, entre otros. Son una importante fuente de alimento para serpientes, aves e insectos, inclusive son recurrentes las interacciones de canibalismo. Además, son organismos con una belleza única, y completamente inofensivos.

Son vulnerables a perturbaciones de diversos orígenes (Li *et al.*, 2013), por lo que se les considera uno de los grupos de vertebrados más amenazados a nivel mundial, con alrededor del 60 % de sus miembros en alguna categoría de amenaza, de acuerdo con la UICN.

Esta situación es preocupante en México ya que, del total de especies, 51 están catalogadas como críticamente amenazadas, 49 amenazadas y 21 vulnerables (IUCN, 2022). Esto se debe a la falta de conocimiento sobre los anfibios, así como al hecho de que muchos parecen imperceptibles para la población en general, lo que se suma a la ignorancia y el desinterés por su cuidado.

Ahora se sabe que las poblaciones de las especies de la familia Plethodontidae dependen de las condiciones ambientales y de la disponibilidad de microhábitats en sitios con altos porcentajes de humedad y temperaturas bajas (Cosentino y Brubaker, 2018; Cante-Bazán, 2022). Por esta razón, los esfuerzos que se realizan para conservar a estos organismos en vida silvestre, también deberían

estar orientados a proteger y conservar áreas que proporcionen a estos anfibios las características de supervivencia más favorables.

## REFERENCIAS

- Barbour RW, Hardin JW, Schafer JP, and Harvey MJ (1969). Home range, movements, and activity of the dusky salamander. *Desmognathus fuscus*. *Copeia* 1969:293-97.
- Camp CD and Lee TP (1996). Intraspecific spacing and interaction within a population of *Desmognathus quadramaculatus*. *Copeia* 1996:78-84.
- Cante-Bazán EA (2022). *Efecto del grado de conservación del bosque sobre la demografía y distribución espacial de Pseudoeurycea leprosa (Caudata: Plethodontidae), en el volcán la malinche, México*. Tesis de Maestría (datos no publicados). Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Cosentino BJ and Brubaker KM (2018). Effects of land use legacies and habitat fragmentation on salamander abundance. *Landscape Ecology* 33:1573-1584.
- Davic RD and Welsh HH (2004). On the Ecological Roles of Salamanders. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35(1):405-434.
- Frost DR (2022). *Amphibian Species of the World: an Online Reference*. Version 6.1 (19/09/2022). Recuperado de: <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. American Museum of Natural History, New York, USA.
- IUCN (2022). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-1. Recuperado de: <https://www.iucnredlist.org>.
- Kleeberger S and Werner K (1982). Home range and homing behaviour of *Plethodon cinereus* in northern Michigan. *Copeia* 1982:409-415.
- Li Y, Cohen JM and Rohr JR (2013). Review and synthesis of the effects of climate change on amphibians. *Integrative Zoology* 8:145-161.
- Merchant HC (1972). Estimated population size and home range of the salamanders *Plethodon jordani* and *Plethodon glutinosus*. *Journal of the Washington Academy of Sciences* 62:248-257.
- Staub NL, Brown CW and Wake DB (1995). Patterns of growth and movements in a population of *Ensatina eschscholtzii* platensis (Caudata: Plethodontidae) in the Sierra Nevada, California. *Journal of Herpetology* 29:593-99.
- Wells K (2007). *The ecology and behavior of amphibians*. Chicago: The University of Chicago Press.

**Enrique A. Cante-Bazán**  
**Aurelio Ramírez-Bautista**  
**Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería**  
**Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo**  
[cante662@gmail.com](mailto:cante662@gmail.com)

# Mofles

## Obra gráfica de Enrique Soto

Leopoldo **Noyola**



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2016.

Todos los vemos, pero no los observamos, mucho menos los fotografiamos. Para apreciar esto necesitamos la mirada de un fotógrafo como Enrique Soto, que ha dedicado gran parte de su obra a los elementos de las calles que todos vemos, pero pocos observamos. Mofles, ¡hazme el favor! Tampoco es algo que veamos muy seguido en los automóviles, ni siquiera en los nuestros. Vemos una fracción del mofle, llamada escape, asomada en la parte posterior, sabemos que es por donde se expulsan los gases producidos por el motor. Y nada más.

Los mofles, fragmento de un mundo retorcido en las partes menos gloriosas de nuestras poderosas máquinas, aparecen en las zonas urbanas de reparaciones y talachas y son la razón de la existencia de las moflerías, frecuentemente enmarcadas –las “elegantes”– en locales pintados de amarillo yema que exhiben mofles convertidos en robots inanimados que hacen las veces de vigilantes metálicos, que a veces inspiran creaciones más elaboradas, como personajes medievales, custodiando esa acumulación de hierro en donde distinguimos a nuestros personajes, los mofles, que viven la paradoja de una juventud gregaria (amontonada, pues), para vivir después una adultez desamparada y solitaria en los bajos vehiculares.



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2016.

Los mofles también son convertidos en árboles de ramas vigorosas, niqueladas y brillantes, anaqueles de improvisadas carnicerías en un mundo de metalófagos, tubos de un órgano musical inacabado, intestinos metálicos, sistemas digestivos en estado crítico o caños cadavéricos incinerados por los calores del motor. Escenarios parchados hasta el infinito, paisaje de basura, decoraciones surrealistas en lugares sucios y escenarios desastrosos. No cabe nada más, se arreglan mofles, balas, soldaduras, birlos, radiadores, piñas; entre los férreos árboles y humanoides caricaturescos, si tenemos paciencia, de entre los tubos y catalizadores,

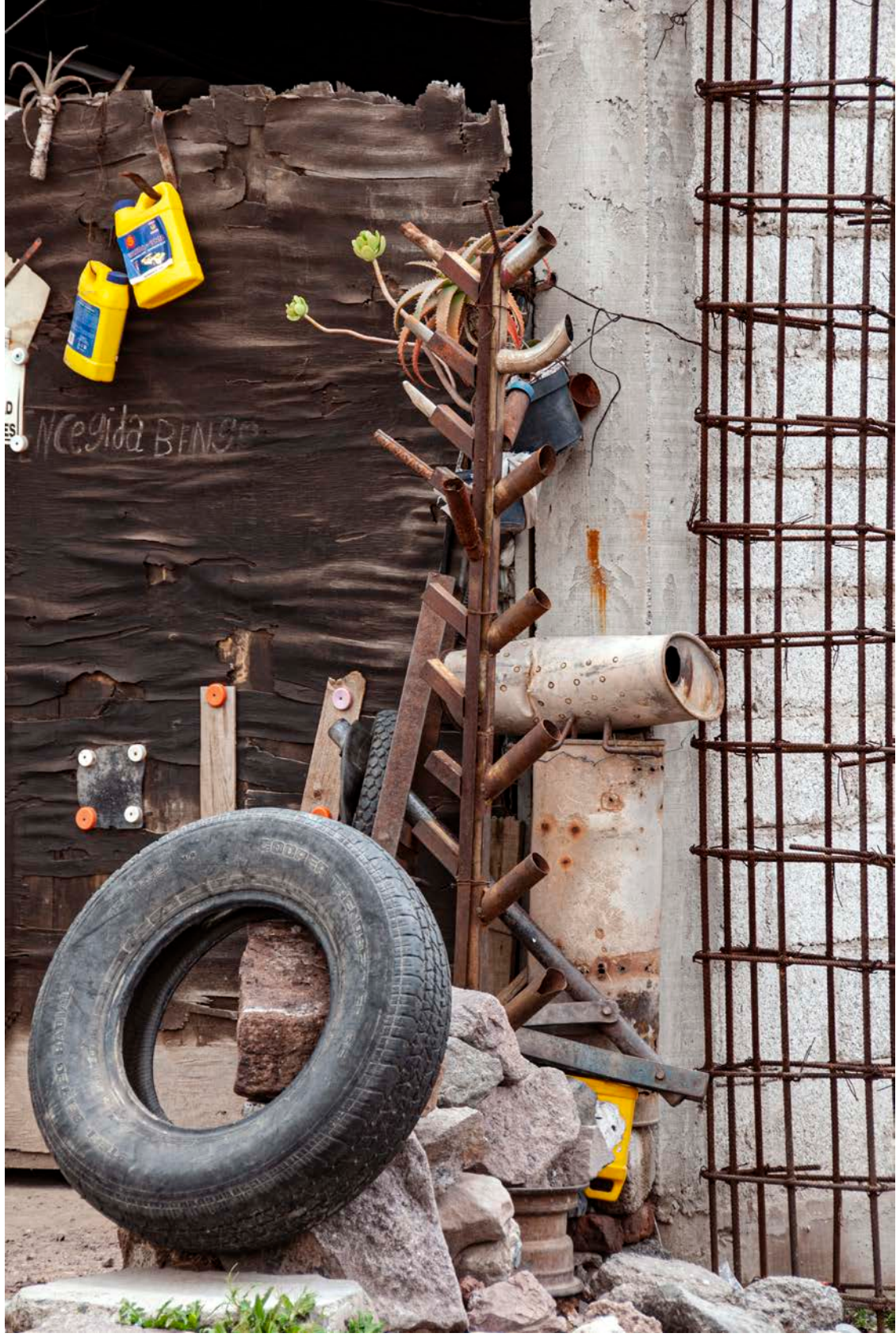
aparece el *maestro*, decorado también con tintura de aceites, rozones de óxido en las mangas de una camisa que alguna vez fue blanca, con una sonrisa encantadora, como si la compañía de sus fierros antropomorfos le bastara para preservar la felicidad.

© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2009.





© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2007.



# Flores de verano y plantas arvenses

Patricia **Hernández-Ledesma**  
Samuel **Cruz-Esteban**

El paisaje en diferentes estados de México tiene su mejor temporada tres o cuatro meses después de haber iniciado la temporada de lluvias que, en el Centro y Sur de México, por lo general comienza en el mes de mayo, extendiéndose hasta noviembre. Es entonces, en los meses de septiembre y octubre, que los campos se vuelven coloridos, el verde se intensifica en cerros y montañas, dominando la vegetación xerófila, además de parches de izotales, cultivos de maíz, sorgo y nopales; entre estos se observan verdaderos tapetes naturales coloridos de diversas flores que llenan los bordes de las carreteras, zonas aledañas y áreas no cultivables, algunas veces hasta al lado de autopistas (Figura 1). Entre estas flores, destacan el color rosa del mirasol, girasol o mirasol morados (*Cosmos bipinnatus*) (Figura 2), el amarillo del cinco llagas, cocoyaton o cocozatona (*Tagetes lunulata*) (Figura 3), el blanco de la aceitilla blanca, mozoquelite chino o mozote (*Bidens odorata*) (Figura 4), todas ellas especies de la familia botánica Asteraceae y muy comunes en México, principalmente en el centro del territorio. Frecuentemente estas plantas crecen en lugares perturbados, a veces como ruderales a lo largo de vías de comunicación o invadiendo potreros y parcelas abandonadas; o en matorrales, bosques de pino-encino, de coníferas, en vegetación secundaria derivada de estos, o pastizales. Estas plantas pertenecen a un grupo conocido como “flores de verano”, florecen en esta época como una estrategia adaptativa para no competir por los recursos



**Figura 1.** Paisaje común sobre la carretera del Arco Norte (Foto: Samuel Cruz-Esteban).



**Figura 3.** *Cosmos bipinnatus* formando tapetes rosas, extendiéndose más allá de la carretera del Arco Norte (Foto: Samuel Cruz-Esteban).



**Figura 2.** Flores de verano, adornando ambas direcciones de la carretera del Arco Norte (Foto: Samuel Cruz-Esteban).



**Figura 4.** *Tagetes lunulata*, formando tapetes amarillos a la orilla de la carretera del Arco Norte (Foto: Samuel Cruz-Esteban).

con las flores de primavera. Generalmente tienen un ciclo de vida anual, suelen gastar su energía en la producción de flores y una vasta cantidad de semillas y no en desarrollar un sistema de raíces expansivo. Las semillas de estas flores permanecen latentes en el sustrato a manera de bancos, germinan en primavera y terminan su ciclo de vida en otoño.

#### FLORES DE VERANO Y RECURSOS FLORALES

Estas flores no solo adornan el paisaje de forma natural, además ofrecen recursos alimenticios como polen o néctar a diversos insectos, o en estas encuentran a sus presas u hospederos y sitios de oviposición o refugio, encontrando en estas plantas lo que necesitan para sobrevivir y asegurar su progenie. Es remarcable que en ellas abundan los insectos benéficos, tales como polinizadores, ya que no es raro ver entre las flores, una gran cantidad de abejas, moscas

y avispas, cargadas de polen (Figura 6). Además de *Apis mellifera* se han observado polinizadores nativos como *Bombus ephippiatus* y un sin número de mariposas alimentándose del néctar. En este sentido, estos tapetes de flores realzan su importancia (Figura 7), ya que son sitios donde se espera que la riqueza y abundancia de las abejas sea mayor en comparación con otros hábitats, como se ha demostrado en diferentes estudios en campos de flores (i.e. Neumüller *et al.* 2021) que sugieren que, una vez establecida la vegetación arvense, aumentan los recursos florales, y en consecuencia el número de especies de abejas (incluyendo las raras) y número de individuos, incrementándose también los servicios de polinización.

#### LAS ARVENSES ¿BUENAS O MALAS?

En diversas zonas de su área de distribución estas especies, como muchas de su tipo, son consideradas como agrestes, es decir, que se desarrollan abruptamente en terrenos que antes eran de cultivo



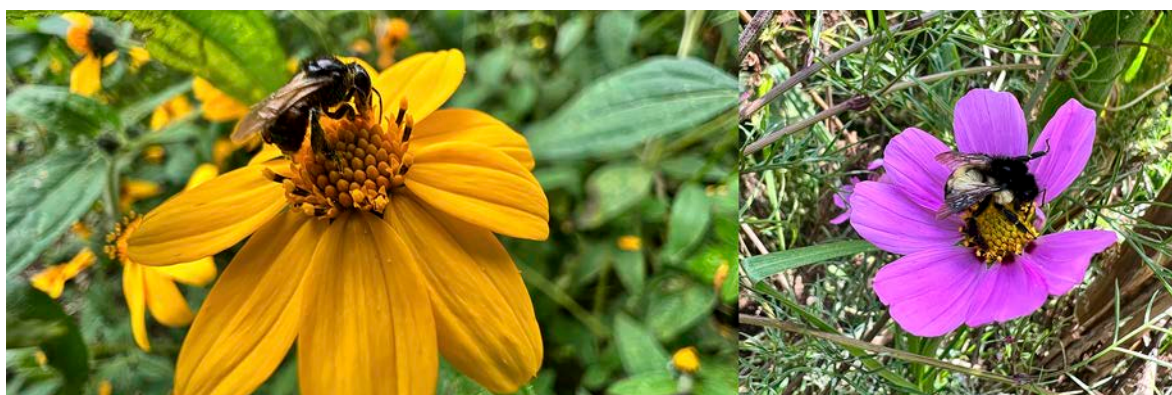
**Figura 5.** *Bidens odorata*, formando tapetes blancos, junto con flores amarillas, a la orilla de la carretera del Arco Norte (Foto: Samuel Cruz-Esteban).

y crecen por falta de estos, o bien que son arvenses (malezas), o sea plantas asociadas a los cultivos que suelen desarrollarse vigorosamente entre estos o junto a ellos, provocando cambios desfavorables en la vegetación, cambiando el aspecto del paisaje, disminuyendo su rendimiento o calidad, e inclusive causando pérdidas económicas a diferentes cultivos agrícolas, ya sea porque compiten por los recursos como nutrientes, agua, luz o CO<sub>2</sub>, o porque producen sustancias nocivas que pueden ser tóxicas para estos, además de que hospedan insectos y patógenos dañinos a las plantas en cultivo. De tal forma que, por ejemplo, las especies antes mencionadas, *Cosmos bipinnatus*, *Tagetes lunulata* y *Bidens odorata*, se han reportado afectando a cultivos como alfalfa, algodón, arroz, avena, cacahuate, calabaza, caña, cebada, chile, fresa, frijol, haba, jitomate, maíz, mango, maguey, nopal, papa, remolacha, sorgo, tomate, uva y hortalizas en diversos estados del país (Villaseñor

y Espinosa, 1998). Debido a esto, las especies arvenses han sido vistas negativamente a través del tiempo como “malas hierbas”; sin embargo, estudios y prácticas recientes aplicadas a cultivos orgánicos, han demostrado que el uso agroecológico de arvenses también puede ser benéfico para los cultivos, pudiendo encontrar un beneficio adicional para el control de plagas o mejoramiento del terreno, incrementando la estabilidad del agroecosistema.

Se ha encontrado que las especies de arvenses dentro de los cultivos tienen un profundo impacto en la composición e interacciones de la entomofauna del cultivo (Gamboa y Pohlan, 1997). De tal forma que tampoco todos los insectos asociados a las arvenses, que a su vez están asociadas a los cultivos, son perjudiciales para estos, muchos de ellos (parasitoides y depredadores) como abejas, moscas, avispas, escarabajos y otros, son más efectivos en sistemas complejos; estos acuden al reclamo de los recursos florales provistos por las arvenses, de paso pueden encontrar presas que pudieran convertirse en una plaga devastadora para el cultivo, además de encontrar micro hábitats que no se encuentran presentes en los monocultivos libres de este tipo de plantas (Blanco, 2016).

Un ejemplo se presenta en cultivos de naranja, en los cuales el manejo diferenciado de *Bidens pilosa*, en la etapa del brote, es benéfico para el cultivo, ya que es este periodo habita la avispa *Tamarixia radiata* y otros insectos benéficos que controlan las poblaciones del psilido de los cítricos *Diaphorina citri*,



**Figura 6.** Avispas y abejas polinizadoras entre las arvenses que forman los tapetes de flores, a la orilla de la carretera del Arco Norte (Foto: Samuel Cruz-Esteban).



Figura 7. Tapetes multicolores de flores de verano.

principal vector de bacterias del género *Candidatus*, asociadas a la enfermedad conocida como Huanglongbing (HLB), considerada a nivel mundial como la más destructiva de este cultivo (Gómez y Gómez, 2021). De esta manera se hace un control biológico de la plaga, estimulado el establecimiento y proliferación en los campos de cultivo de sus enemigos naturales, además se obtiene un cultivo orgánico, o se disminuyen las aplicaciones de insecticidas y herbicidas, cuyos efectos adversos pudieran dañar al ambiente y a la salud humana de forma indirecta. En otros casos se ha reportado que el pasto arvense *Eleusine indica*, regula a la chicharrita del frijol, *Empoasca kraemeri* por repelencia química; mientras que, *Amaranthus viridis*, *Boerhavia erecta* y *Cucumis prophetarum*, actúan como huéspedes alternativos de áfidos plaga (Blanco, 2016), reduciendo considerablemente su presencia en las plantas de los cultivos a las que están asociadas. Es decir, se pueden utilizar como plantas trampa, ya que son altamente preferidas por insectos plagas. En otros casos, los extractos de plantas arvenses han sido evaluados por su efecto acaricida, como es el caso de *Dysphania ambrosioides* (el epazote) y *Tagetes lúcida* (Yerbaníz), que han resultado efectivos como tal, por mencionar algunos ejemplos.

## CONCLUSIONES

Año tras año podemos ver flores de verano, que como plantas arvenses no necesariamente tienen

un efecto negativo en la vegetación y en los cultivos, en los cuales, con un manejo adecuado, pueden resultar benéficos para estos, direccionándose en agroecosistemas en favor de la biodiversidad. Muchas de estas plantas, además, tienen potencial de uso o ya están siendo usadas como insecticidas, fungicidas o repelentes naturales; como alimento para humanos y forraje, mejoramiento genético y conservación del suelo.

## REFERENCIAS

- Blanco Valdés Y (2016). El rol de las arvenses como componente de la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales* 37:34-56.
- Enroth C (2021). What makes plants bloom at different times of the year? Recuperado de: <https://extension.illinois.edu/blogs/good-growing/2021-10-29-what-makes-plants-bloom-different-times-year>.
- Gamboa W y Pohlen J (1997). La importancia de las malezas en una agricultura sostenible del trópico. *Journal of Agriculture in the Tropics and Subtropics* 98:117-123.
- Gómez Cruz A M y Gómez Tovar L (2021). Producción agroecológica de naranja tardía, toronja, aguacate, coco, plátano castilla y leguminosas en Papantla Veracruz. Recuperado de: <https://www.gob.mx/semarnat%7Cagroecologiayglifosato/articulos/practicas-agroecologicas-para-el-manejo-de-arvenses-como-parte-del-manejo-organico>.
- Neumüller U, Burger H, Schwenninger HR et al. (2021). Prolonged blooming season of flower plantings increases wild bee abundance and richness in agricultural landscapes. *Biodiversity and Conservation* 30:3003-3021.
- Vibrans H ed. (9 de julio de 2009). "Bidens odorata". Malezas de México. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/bidens-odorata/fichas/ficha.htm>.
- Vibrans H ed. (16 de agosto de 2009). "Cosmos bipinnatus". Malezas de México. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/cosmos-bipinnatus/fichas/ficha.htm>.
- Vibrans H. ed. (14 de julio de 2009). "Tagetes lunulata". Malezas de México. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/tagetes-lunulata/fichas/ficha.htm>.
- Villaseñor Ríos JL y Espinosa García FJ (1998). Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México / Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario / Fondo de Cultura Económica.

**Patricia Hernández-Ledesma**  
**Instituto de Ecología, A. C.**  
**Centro Regional del Bajío**  
**Red de Diversidad Biológica del Occidente Mexicano**  
**Pátzcuaro, Michoacán**  
[patricia.hernandez@inecol.mx](mailto:patricia.hernandez@inecol.mx)

**Samuel Cruz-Esteban**  
**Instituto de Ecología, A. C.**  
**Centro Regional del Bajío**  
**Red de Diversidad Biológica del Occidente Mexicano**  
**Pátzcuaro, Michoacán**  
**CONACYT, México**  
[samuel.cruz@inecol.mx](mailto:samuel.cruz@inecol.mx)

# Dinosaurios en la Ciudad de México

Jorge A. **Herrera-Flores**

No, hasta el día de hoy no se han encontrado fósiles de dinosaurios en la Ciudad de México, en ese aspecto lamentablemente desilusionar a algunos lectores, pero sucede que los pocos yacimientos con fósiles de esta gran ciudad pertenecen a edades geológicas demasiado recientes como para encontrar restos de dinosaurios u otros animales mesozoicos. Habiendo aclarado lo anterior, de lo que aquí se hablará es de tres historias relacionadas con dinosaurios ocurridas a lo largo del siglo XX y principios del siglo XXI en la Ciudad de México, las cuales son notables por estar estrechamente ligadas con el impulso de los museos de historia natural, el desarrollo de la paleontología de dinosaurios y la ingeniería robótica en México.

## **EL *DIPLODOCUS* DEL MUSEO NACIONAL DE HISTORIA NATURAL (MUSEO DEL CHOPO)**

A finales del siglo XIX, aconteció en los Estados Unidos de Norte América la llamada “guerra de los huesos”, misma que consistió en la feroz competencia entre dos de los más brillantes paleontólogos de todos los tiempos: Edward Drinker Cope y Othniel Charles Marsh. Ambos científicos comenzaron como amables colegas, dedicándose a estudiar los ricos yacimientos paleontológicos recién descubiertos en el oeste de los Estados Unidos. Sin embargo, poco a poco se desató una gran rivalidad entre los investigadores, principalmente para demostrar quién realizaba los mejores descubrimientos y quién nombraba el mayor número de

nuevas especies. Una de las consecuencias de la llamada “guerra de los huesos” fue el extenso estudio de los yacimientos fosilíferos del Jurásico Tardío de los Estados Unidos, dando como resultado el descubrimiento y descripción de nuevos géneros de dinosaurios, algunos considerados como emblemáticos a causa de su gran popularidad entre el público en general, como los dinosaurios *Allosaurus*, *Camarasaurus*, *Ceratosaurus*, *Stegosaurus* y *Diplodocus*.

Respecto a *Diplodocus*, este género fue descrito por Othniel Marsh en el año de 1878, nombrando a la primera especie como *Diplodocus longus*. Varios años más tarde, en 1901, el paleontólogo John Bell Hatcher describió, en base a un esqueleto casi completo, una segunda especie de *Diplodocus* nombrada como *Diplodocus carnegii* en honor al magnate estadounidense Andrew Carnegie. Al poco tiempo, *Diplodocus carnegii* ganó gran popularidad internacional debido a su gran tamaño y al excelente estado de conservación de su esqueleto, el cual se montó en el Museo Carnegie de Historia Natural en la ciudad de Pittsburg, Pensilvania. Tal fue la popularidad del esqueleto de *Diplodocus carnegii* que se le apodó cariñosamente “Dippy”, del que el magnate Andrew Carnegie mandó a hacer una primera reproducción que fue obsequiada al Museo de Historia Natural de Londres en 1905. Lo anterior dio pie a que museos de historia natural de países como Alemania, Argentina, Austria, España, Francia, Italia, Rusia y México solicitaran a Andrew Carnegie copias del esqueleto de “Dippy” (Pérez-García y Sánchez-Chillón, 2009).

Por otra parte, a inicios del siglo XX, durante los últimos años del porfirismo, dio inicio en la capital de México la construcción de un gran y moderno edificio de hierro, tabique y cristal que albergaría el Museo Nacional de Historia Natural. El museo fue finalmente inaugurado en 1913, alojando una amplia colección de animales disecados, colecciones de insectos y minerales (Coordinación de Difusión Cultural UNAM, 1988; Molina, 2014). Poco tiempo después de su inauguración, el prestigioso naturalista mexicano Alfonso L. Herrera se hizo

cargo de la dirección del museo, quien influyó en forma decisiva para que sus colecciones crecieran considerablemente; además, fue a iniciativa del Dr. Alfonso L. Herrera la idea de solicitar al Museo Carnegie una réplica en yeso del esqueleto de “Dippy”, la cual fue gentilmente donada por la viuda de Andrew Carnegie, Louise Whitfield Carnegie, en el año de 1926. La réplica del esqueleto de “Dippy” arribó al Museo Nacional de Historia Natural en el verano de 1930, siendo recibida por Isaac Ochoterena, quien entonces fungía como jefe del Departamento de Biología de la Escuela Nacional Preparatoria (Coordinación de Difusión Cultural UNAM, 1988; Molina, 2014). Cabe señalar que la réplica del esqueleto de “Dippy” se convirtió en el primer esqueleto de dinosaurio montado en México, lo que para su época fue algo totalmente innovador para la ciencia en nuestro país, lo que ayudó además a despertar interés por los dinosaurios, la ciencia y la paleontología en general, aparte de darle identidad y acrecentar la popularidad del Museo Nacional de Historia Natural.

Tras varias décadas de funcionamiento, el Museo Nacional de Historia Natural, para entonces conocido ya como Museo del Chopo, entró en una prolongada decadencia que era bastante notable para la década de 1950. Finalmente, para el año de 1964, el museo fue clausurado, provocando que muchas de sus colecciones se repartieran entre otros museos e instituciones de la Ciudad de México, como por ejemplo el Museo de Geología de la UNAM y el Museo Nacional de las Culturas, entre otros (Coordinación de Difusión Cultural UNAM, 1988; Molina, 2014). Respecto al esqueleto de “Dippy”, fue reubicado en el entonces recientemente creado Museo de Historia Natural de la Ciudad de México, localizado en la segunda sección del Bosque de Chapultepec y en donde permanece en exhibición hasta el día de hoy (Figura 1).

Tras casi cincuenta años de descuido y abandono, a mediados de la década del 2010, el Gobierno de la Ciudad de México decidió rehabilitar al Museo de Historia Natural de la Ciudad de México, renombrado ahora como “Museo de Historia Natural y Cultura Ambiental”. Durante los años 2016



**Figura 1.** Réplica del esqueleto restaurado de *Diplodocus carnegii* montado en el Museo de Historia Natural y Cultura Ambiental de la Ciudad de México. Foto: Jorge Herrera-Flores, 2022.

actuales de los estudios modernos de biomecánica de dinosaurios saurópodos (Hernández-Rivera, comunicación personal 2022). Finalmente, el museo ya remodelado y la réplica restaurada del esqueleto de “Dippy” dieron de nuevo la bienvenida al público a inicios del año 2018 (Figura 1).

y 2017 se trabajó en una extensa remodelación de las salas de exhibición, así como en la curación y restauración de las distintas colecciones del museo, además de integrar nuevas piezas a las salas de exhibición. La extensa rehabilitación del museo incluyó la cuidadosa reexaminación y restauración de la réplica del esqueleto de “Dippy”, cuyo trabajo estuvo a cargo de paleontólogos del Instituto de Geología de la UNAM, entre los que destacaban los maestros René Hernández Rivera y Ángel Alejandro Ramírez Velasco, además del biólogo Ricardo Servín Pichardo (Hernández-Rivera, comunicación personal 2022). Durante la restauración de la réplica del esqueleto de “Dippy”, los paleontólogos de la UNAM se dieron cuenta de que “Dippy”, desde un principio, no tenía algunos huesos importantes de la columna vertebral, como por ejemplo el atlas y el axis (las dos primeras vertebrales cervicales), por lo que los paleontólogos tuvieron que darse a la tarea de reconstruirlas y añadirlas al espécimen, lo cual se llevó a cabo mediante una extensa revisión de material bibliográfico (Hernández-Rivera, comunicación personal 2022). Tras varios meses de arduo trabajo, se logró restaurar cada réplica de hueso, así como la pátina que las recubre; adicionalmente, se cambió la posición en la que originalmente estaba montado el esqueleto a una postura mucho más natural y anatómicamente correcta, acorde a las hipótesis

#### **“ISAURIA”, EL PRIMER ESQUELETO MONTADO DE UN DINOSAURIO MEXICANO**

El estudio de los dinosaurios mexicanos tiene una larga historia que comenzó hace casi cien años, cuando en 1926 el paleontólogo alemán Werner Janensch describió los restos fragmentarios del dinosaurio Cretácico *Monoclonius*, hallados en el estado de Coahuila. Posterior al descubrimiento de Janensch, varios restos directos e indirectos de dinosaurios han sido encontrados en otros estados de la República Mexicana como Baja California, Chiapas, Chihuahua, Durango, Michoacán, Puebla, Oaxaca, Sonora, Tamaulipas y Coahuila, siendo este último el estado que más destaca debido a su abundancia de restos de dinosaurios (Hernández-Rivera, 1994).

Los estudios modernos de los dinosaurios de México dieron inicio a principios de la década de 1980, cuando los paleontólogos del Instituto de Geología de la UNAM realizaron diversas prospecciones en busca de fósiles en varios estados de la república mexicana. En el año de 1987 se propuso a la UNAM un proyecto para recuperar fósiles de dinosaurio en Coahuila, proyecto cuyo trabajo de campo dio inicio a principios de 1988 con una prospección de diez



**Figura 2.** Réplica del esqueleto de “Isauria” (*Latirhinus uitstlani*) montado en el Museo de Geología de la Ciudad de México. Foto: Jorge Herrera-Flores, 2022.

días, a los que siguió una temporada de recolecta de 40 días durante los meses de abril, mayo y junio. Como resultado del trabajo de campo en Coahuila, los paleontólogos de la UNAM recolectaron un esqueleto semicompleto de un dinosaurio pico de pato o hadrosaurio del Cretácico Tardío (aproximadamente 72.5 millones de años), de la Formación Cerro del Pueblo al que apodaron con el nombre de “Isauria” (Hernández-Rivera, 1994). Durante los años posteriores se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto de Geología de la UNAM la limpieza, restauración, duplicado y montaje del esqueleto de “Isauria”, que para ese entonces se había relacionado tentativamente con el género *Kritosaurus*. Tras cuatro largos años de preparación, una copia del esqueleto “Isauria” fue finalmente montada y exhibida por primera vez el 18 de junio de 1993 (Figura 2) en el Museo del Instituto de Geología de la UNAM (Hernández-Rivera, 1994).

Más de una década después, en 2006, una reexaminación de “Isauria” identificó que sus restos estaban aparentemente relacionados al género *Gryposaurus*; no obstante, en 2012, un estudio publicado por los paleontólogos Albert Prieto Márquez y Claudia Inés Serrano Brañas dieron a conocer que los fósiles de “Isauria” pertenecían a un nuevo género y especie de hadrosaurio saurolofino, con base en la morfología del proceso dorsal del hueso nasal;

el nuevo dinosaurio se nombró *Latirhinus uitstlani*, que significa “nariz ancha del sur” (Prieto-Márquez y Serrano-Brañas, 2012).

Casi diez años después, una amplia reexaminación de los huesos de “Isauria”, realizada por los paleontólogos Ángel Alejandro Ramírez Velasco, Luis Espinosa Arrubarrena y Jesús Alvarado Ortega determinó que la descripción original de *Latirhinus uitstlani* tomó en cuenta diversos elementos óseos quiméricos, además de que el hueso nasal empleado como elemento diagnóstico, en realidad pertenecía al hueso yugal; sin embargo, algunos elementos del esqueleto apendicular y pelvis permitieron confirmar la validez de la especie, lo que a su vez permitió identificar a este dinosaurio como un hadrosaurio lambeosaurino (Ramírez-Velasco *et al*, 2021).

Finalmente, en un estudio publicado en 2022, los autores que originalmente describieron a *Latirhinus uitstlani* analizaron la tafonomía de los restos de este dinosaurio y como resultado descartaron algunos elementos quiméricos de la pelvis, añadidos por Ramírez-Velasco y colaboradores; además confirmaron la relación de “Isauria” con hadrosaurios lambeosaurinos en base a un análisis filogenético (Serrano-Brañas y Prieto-Márquez, 2022).

## DINOSAURIOS EN EL BOSQUE DE CHAPULTEPEC

Hoy en día, las exposiciones de dinosaurios animatrónicos a tamaño real son usuales en varias de las principales ciudades de la República Mexicana, sin embargo, estas no eran comunes hace más de tres décadas.

La primera gran exposición de dinosaurios animatrónicos en México ocurrió a principios de la década de 1990, cuando el entonces Departamento del Distrito Federal (DDF) trajo al bosque de Chapultepec la exposición de dinosaurios animatrónicos de la afamada empresa estadounidense *Dinamation International*.

Esta exposición se llevó a cabo por iniciativa del señor Erasto Martínez, quien trabajaba para la Dirección de Acción Social, Cívica y Cultural del Departamento del Distrito Federal (Socicultur DDF),

quien propuso que se realizara una exposición de dinosaurios animatrónicos a fin de añadir un atractivo temporal al bosque de Chapultepec tras el cierre en 1992 del Zoológico de Chapultepec, a causa de una extensa remodelación que terminaría a finales de 1994 (Hernández-Rivera, comunicación personal 2022).

La exposición de dinosaurios animatrónicos se inauguró a inicios de 1993 bajo el nombre de “Dinosauria en el bosque de Chapultepec”, la cual contó con la asesoría de Shelton P. Applegate, Luis Espinoza Arrubarrena y René Hernández Rivera, todos ellos paleontólogos del Instituto de Geología de la UNAM. La colaboración de los paleontólogos de la UNAM fue de gran importancia, ya que estos se encargaron de incluir en la exposición parte de los recientes descubrimientos de los dinosaurios mexicanos realizados hasta ese momento, entre los que destacaba el descubrimiento y montaje del esqueleto de “Isauria”, del que se habló anteriormente, además de la asesoría para la construcción de la escenografía, diseño de la exposición y libretos guía con información (Hernández-Rivera, comunicación personal 2022), incluyendo datos sobre los dinosaurios mexicanos de los cuales hasta ese momento había poca información disponible para el público en general (Figura 3).

La exposición de dinosaurios animatrónicos del bosque de Chapultepec contó con varios animatrónicos a tamaño real con sonido y movimiento, entre los que destacaban los dinosaurios *Allosaurus*, *Apatosaurus*, *Pachycephalosaurus*, *Parasaurolophus*, *Stegosaurus*, *Triceratops* y *Tyrannosaurus*.

Cabe señalar que, debido a diversos problemas, la exposición solo duró unos pocos meses, sin embargo, dio origen a que se formaran compañías mexicanas como la empresa Animatronix, que retomó algunos de los animatrónicos de *Dinamation International* y que además construyó sus propios dinosaurios animatrónicos desarrollados por ingenieros mexicanos con la asesoría de los paleontólogos de la UNAM.

Las nuevas exposiciones de dinosaurios, que ya incluían animatrónicos totalmente fabricados en nuestro país, comenzaron en la Ciudad de México



**Figura 3.** A) Portada del librito guía de la exposición “Dinosauria en el bosque de Chapultepec” publicada por el Departamento del Distrito Federal, en la cual se pueden observar algunos de los dinosaurios animatrónicos usados en la exposición de 1993. B, C y D) Isologos empleados en las distintas exposiciones de dinosaurios animatrónicos en la Ciudad de México a mediados de la década de 1990.

en 1994, pero estas ya no se realizaron en el bosque de Chapultepec, además de que se organizaron bajo otros nombres como “Parque Prehistórico” o “Mundo Jurásico” (Figura 3 C, B).

Es de destacar que el desarrollo de animales animatrónicos hechos en México fue algo sumamente innovador para la ingeniería robótica de nuestro país, además de que esto sentó las bases para el desarrollo de la tecnología necesaria para que hoy en día existan múltiples exposiciones de dinosaurios y otros animales animatrónicos a lo largo y ancho de la república mexicana.

#### PARA FINALIZAR...

Como hemos visto, no es posible encontrar fósiles de dinosaurios en el subsuelo de la Ciudad de México, pero lo que sí es posible, es el visitar a algunos de los protagonistas de las historias aquí contadas. El esqueleto restaurado de “Dippy”, así como la réplica del esqueleto de “Isauria”, siguen expuestos en sus respectivos museos.

También, si bien la mayoría de los dinosaurios animatrónicos originales de los que aquí se habló ya no existen, aún hay otras exposiciones similares en la Ciudad de México, como por ejemplo



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2007.

la exposición Iztapasauria, que contiene diversos dinosaurios animatrónicos dentro de un parque temático inaugurado en 2021 en la alcaldía Iztapalapa; de igual forma hay disponibles otras exposiciones itinerantes en la Ciudad de México y su área metropolitana. Por todo lo anterior, invito a todos los lectores, principalmente a los más jóvenes, a visitar los museos y exposiciones aquí mencionadas, ya que puede que estos los inspiren para convertirse en futuros paleontólogos.

#### AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Maestro René Hernández Rivera por su amabilidad y apoyo para la realización de este trabajo.

#### R E F E R E N C I A S

Coordinación de Difusión Cultural de la UNAM (1988). *Museo Universitario del Chopo 1973-1988*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Hernández-Rivera R (1994). *Dinosaurios*. Secretaría de Educación Pública de Coahuila, Gobierno del Estado de Coahuila.

Molina CA (2014). *Érase una vez un museo. Apuntes históricos para el edificio y Museo Universitario del Chopo*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Pérez-García A y Sánchez-Chillón B (2009). Historia de *Diplodocus carnegii* del MNCN: primer esqueleto de dinosaurio montado en la Península Ibérica. *Spanish Journal of Palaeontology* 24:133-148.

Prieto-Márquez A and Serrano Brañas CI (2012). *Latirhinus uitstlani*, a 'broad-nosed' saurolophine hadrosaurid (Dinosauria, Ornithomoda) from the late Campanian (Cretaceous) of northern Mexico. *Historical Biology* 24:607-619.

Ramírez-Velasco AA, Espinosa-Arrubarrena L and Alvarado-Ortega J (2021). Review of the taxonomic affinities of *Latirhinus uitstlani*, an emblematic Mexican hadrosaurid. *Journal of South American Earth Sciences* 110:103391.

Serrano-Brañas CI y Prieto-Márquez A (2022). Taphonomic attributes of the holotype of the lambeosaurine dinosaur *Latirhinus uitstlani* from the late Campanian of Mexico: Implications for its phylogenetic systematics. *Journal of South American Earth Sciences* 114:103689.

**Jorge A. Herrera-Flores**  
**Colección de Paleontología**  
**Facultad de Estudios Superiores Zaragoza**  
**Universidad Nacional Autónoma de México**  
[jorgeherrera.phd@gmail.com](mailto:jorgeherrera.phd@gmail.com)

# Mariposas y polillas del Jardín Botánico Universitario de la BUAP: un primer contacto

José Antonio **González Oreja**  
César Antonio **Sandoval Ruiz**  
Francisco Javier **Jiménez Moreno**

Aunque probablemente apócrifa, una anécdota de J. B. S. Haldane, uno de los grandes biólogos evolutivos del siglo XX, se cuenta con frecuencia en relación con los estudios de la biodiversidad. Cierta noche, sentado como estaba en una cena de postín junto al entonces arzobispo de Canterbury, el biólogo fue interrogado por el eminente eclesiástico sobre lo que había logrado aprender acerca de la figura del Creador, después de tantos años de estudiar su creación. A lo que Haldane, quien no era precisamente un apóstol de la religión, respondió: “Dios parece tener una afición desmedida por los escarabajos”.

Lo cierto es que los escarabajos son el grupo animal que cuenta con el mayor número de especies conocidas.<sup>1</sup> Y, después de los escarabajos (así como las moscas y los mosquitos; véase más adelante), están las mariposas y polillas.

## BREVE INTRODUCCIÓN A LOS INSECTOS

Sin temor a equivocarnos, los insectos representan la manifestación más exuberante de la diversidad de la vida sobre la faz de la Tierra, pues son el grupo animal con

mayor número de especies descritas por la ciencia.<sup>2</sup> Esta gran diversidad resulta de un sencillo plan corporal básico que se ha modificado a lo largo de la evolución en órdenes por todos conocidos, como Coleoptera (escarabajos), Lepidoptera (mariposas y polillas), Diptera (moscas y mosquitos) e Hymenoptera (abejas, avispas y hormigas), entre otros (Gullan y Cranston, 2014).

Los insectos (clase Insecta) pertenecen al filo de los artrópodos (filo Arthropoda). En general, tienen un cuerpo articulado en tres regiones bien diferenciadas: la cabeza (con ojos, antenas y el aparato bucal); el tórax (con tres pares de patas y generalmente dos pares de alas, que les permiten volar libremente), y el abdomen (con un número variable de segmentos). Presentan gran variedad de formas de desarrollo, aunque generalmente son ovíparos y atraviesan una metamorfosis simple (que incluye tres etapas: huevo, ninfa y adulto) o completa (cuatro etapas: huevo, larva, pupa y adulto). Teniendo en cuenta su elevada diversidad morfológica, no es extraño que hayan evolucionado numerosos caracteres complejos dentro del grupo: muchos son adaptaciones a ciertas condiciones ambientales; otros les permiten explotar modos de vida parasitarios, o tienen que ver con la selección sexual (Gullan y Cranston, 2014).

Aunque la mayor riqueza de especies se observa en latitudes tropicales, los insectos pueden vivir en una enorme diversidad de hábitats, tanto naturales (excepto en los grandes fondos oceánicos) como modificados por las actividades humanas, y siempre desarrollan funciones ecológicas vitales para la estabilidad de los ecosistemas, como la polinización de numerosas especies de plantas con flor (Gullan y Cranston, 2014; Footitt y Adler, 2017).

#### BREVE INTRODUCCIÓN A LAS MARIPOSAS Y POLILLAS

Entre los insectos mejor conocidos –pues han recibido más atención que otros grupos menos carismáticos– están las mariposas y polillas, que integran el orden Lepidoptera.<sup>3</sup> Los lepidópteros

son insectos holometábolos (presentan metamorfosis completa) y los adultos son de hábitos diurnos (mariposas) o principalmente nocturnos (polillas). La evolución de las mariposas y polillas está muy relacionada con la de las plantas con flor, cuyos recursos pueden utilizar tanto las larvas u orugas, como los adultos o imagos. De hecho, las piezas bucales de los adultos están altamente modificadas en forma de espiritrompa o probóscide, un órgano muy especializado y adaptado para succionar el néctar de las flores y otros líquidos. Las alas de los adultos, de gran superficie y movimiento relativamente lento, han adquirido a lo largo de la evolución una forma más o menos triangular, y presentan en sus venas y membranas una densa cobertura de escamas, de donde deriva el nombre científico del grupo (del griego *λεπίς*, *lepís*: escama, y *πτερόν*, *pteron*: ala). Las escamas tienen funciones relacionadas con la termorregulación y el vuelo, y contienen numerosas microestructuras y pigmentos con diversas propiedades ópticas, que generan diversidad de colores y diseños (Vila, 2012).

Las mariposas suelen estar activas durante el día, cuando podemos observar fácilmente a muchas especies alimentándose del néctar de las flores; suelen mostrar vistosos diseños y patrones de coloración en sus alas, a veces iridiscentes, que con frecuencia son distintos en la parte superior (dorsal) y en la inferior (ventral); y, al posarse sobre un sustrato, sus alas están generalmente plegadas de forma vertical sobre el cuerpo, por lo que solo se observa la parte inferior. Por otro lado, la mayoría de las polillas se posan con las alas desplegadas en horizontal, o plegadas alrededor del cuerpo con la parte superior visible. En fin, las mariposas suelen tener antenas que terminan en una especie de maza; no así las polillas, pues sus antenas son filiformes, o plumosas, o con flecos en los bordes.

Aunque la diversidad de lepidópteros pueda resultar intimidante al observador novato, en realidad podemos avanzar en nuestro conocimiento de las mariposas y polillas que observamos prestando atención a algunos rasgos más o menos fáciles de apreciar. Por ejemplo, el tamaño (vg., envergadura alar), la forma (vg., las diferencias en la forma de las

alas ayudan a crear un aspecto propio de algunos grupos de especies), los patrones de coloración, o el comportamiento y estilo de vuelo (vg., vuelos más o menos directos, o con aleteos sostenidos vs. vuelos aparentemente erráticos, o que combinan aleteos y planeos). Puede haber también variaciones en algunos rasgos entre los machos y las hembras de algunas especies, así como variaciones entre las estaciones a lo largo del año; en realidad, no hay dos mariposas ni polillas que sean exactamente iguales.

#### MARIPOSAS Y POLILLAS DE MÉXICO Y DE PUEBLA

Desde hace tiempo, el atractivo de las mariposas y polillas ha despertado el interés de aficionados y científicos, quienes han acumulado un amplio conocimiento sobre numerosos aspectos de su biología, taxonomía y distribución. En efecto, los lepidópteros son uno de los pocos grupos de insectos con una imagen habitualmente positiva entre el público en general. En todo el mundo hay cada vez más aficionados y entusiastas de las mariposas y polillas, y sus registros añaden nuevos datos a nuestro conocimiento sobre la distribución y biología de estas especies. Además, este conocimiento puede tener también una vertiente aplicada. Así, las mariposas y polillas responden generalmente a cambios (a veces sutiles) en sus hábitats naturales, por lo que han sido propuestas como bioindicadores ecológicos que pueden utilizarse en proyectos de monitoreo ambiental (véase, por ejemplo, Orta *et al.*, 2022).

En México pueden encontrarse representantes de muchos de los grupos de mariposas y polillas descritos en todo el mundo. Tras analizar la bibliografía de lepidópteros relacionada con el país y revisar bases de datos sobre estos insectos, Llorente Bousquets *et al.* (2014) concluyeron que se han registrado 14,507 especies en México y estimaron algo más de 23,700 especies.

Desgraciadamente, el estudio sobre la biodiversidad del Estado de Puebla publicado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) cubrió muy superficialmente al orden Lepidoptera (entre otros), y reportó

solo 23 especies, más dos géneros de mariposas diurnas: solamente aquellos taxones con individuos entonces depositados en la colección entomológica del Instituto de Ciencias de la BUAP (CONABIO 2011). En realidad, la diversidad de lepidópteros de nuestro estado es muchísimo mayor. Según Llorente Bousquets *et al.* (2014), en el Estado de Puebla se han registrado 488 especies, clasificadas por familias como sigue: Papilionidae, 33 (6.8 % del total); Pieridae, 49 (10.0 %); Lycaenidae, 118 (24.2 %); Riodinidae, 64 (13.1 %) y Nymphalidae, 224 (45.9 %).

#### MARIPOSAS Y POLILLAS DEL JARDÍN BOTÁNICO UNIVERSITARIO DE LA BUAP

En este artículo, que está en la línea de otro anterior sobre las aves comunes de Ciudad Universitaria (González Oreja *et al.*, 2019), damos a conocer nuestros registros de mariposas y polillas en el Jardín Botánico Universitario de la BUAP (en adelante, Jardín). Nuestro objetivo es contribuir a que la comunidad universitaria de la BUAP conozca y valore la biodiversidad que nos rodea, y que comparte con nosotros el área verde de Ciudad Universitaria, en general, y del Jardín, en particular. Para más información sobre el Jardín y sus actividades, véase su página web (<https://jardinbotanico.buap.mx/>).

Desde 2018 hemos realizado numerosos itinerarios en el Jardín y hemos registrado las especies de mariposas y polillas observadas. Durante nuestro trabajo de campo hemos observado a los animales con binoculares (vg., Leopold 10 × 42 Acadia) y los hemos fotografiado con una cámara digital Canon EOS 7D Mark II, equipada con una lente Canon EF 100-400 mm 1:4.5-5.6 L IS II USM + Canon Extender EF 1.4x III. Salvo la Figura 14 (C. A. Sandoval Ruiz), las fotografías que acompañan este texto fueron todas capturadas por el primer autor (J. A. González Oreja), y muestran mariposas y polillas vivas en sus posiciones habituales y en distintos microhábitats del Jardín, lo que facilita su identificación. Para identificar a las especies hemos utilizado diversas guías de campo (vg., Glassberg 2017), así

| [1] [2] [3]          | Nombre común                            | Nombre científico                | [4] | Fig. |
|----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|-----|------|
| <b>Bombycoidea</b>   |                                         |                                  |     |      |
| Saturniidae          |                                         |                                  |     |      |
| Saturniinae          |                                         |                                  |     |      |
|                      | Polilla Constelación                    | <i>Copaxa multifenestrata</i>    | ✓✓  | 1    |
| Sphingidae           |                                         |                                  |     |      |
| Macroglossinae       |                                         |                                  |     |      |
|                      | Polilla Colibrí                         | <i>Aellopos clavipes</i>         | ✓   | 2    |
| <b>Noctuoidea</b>    |                                         |                                  |     |      |
| Erebidae             |                                         |                                  |     |      |
| Arctiinae            |                                         |                                  |     |      |
|                      | Polilla Tigre Venosa                    | <i>Ctenucha venosa</i>           | ✓✓  | 3    |
| Erebinae             |                                         |                                  |     |      |
|                      | Polilla Bruja                           | <i>Ascalapha odorata</i>         | ✓✓  |      |
| <b>Papilionoidea</b> |                                         |                                  |     |      |
| Hesperiidae          |                                         |                                  |     |      |
| Eudaminae            |                                         |                                  |     |      |
|                      | Saltarina Relámpago de Punta Amarilla   | <i>Telegonus anausis annetta</i> | ✓✓  | 4    |
|                      | Saltarina de Cola Larga Común           | <i>Thorybes dorantes</i>         | ✓✓  | 5    |
| Hesperiinae          |                                         |                                  |     |      |
|                      | Saltarina de la Sombra                  | <i>Lon melane</i>                | ✓✓  | 6    |
| Lycaenidae           |                                         |                                  |     |      |
| Polyommatainae       |                                         |                                  |     |      |
|                      | Mariposa Azul del Mezquite              | <i>Echinargus isola</i>          | ✓✓  |      |
| Theclinae            |                                         |                                  |     |      |
|                      | Mariposa Sedosa Verde de Bordo Café     | <i>Cyanophrys longula</i>        | ✓   |      |
| Nymphalidae          |                                         |                                  |     |      |
| Danainae             |                                         |                                  |     |      |
|                      | Mariposa Monarca                        | <i>Danaus plexippus</i>          | ✓   | 7    |
| Heliconiinae         |                                         |                                  |     |      |
|                      | Mariposa Pasionaria Motas Blancas       | <i>Dione vanillae</i>            | ✓✓  |      |
|                      | Mariposa Pasionaria de Alas Largas      | <i>Dione juno</i>                | ✓✓  | 8    |
|                      | Mariposa Pasionaria                     | <i>Dione moneta</i>              | ✓   | 9    |
|                      | Mariposa Cebra de Alas Largas           | <i>Heliconius charitonia</i>     | ✓✓  | 10   |
| Nymphalinae          |                                         |                                  |     |      |
|                      | Mariposa Ojo de Venado Común            | <i>Junonia coenia</i>            | ✓   | 11   |
|                      | Mariposa Lunita Tejana                  | <i>Anthanasia texana</i>         | ✓✓  | 12   |
|                      | Mariposa Parche Negra con Rayas Blancas | <i>Chlosyne ehrenbergii</i>      | ✓✓  |      |
|                      | Mariposa Velo de Duelo                  | <i>Nymphalis antiopa</i>         | ✓   | 13   |
|                      | Vanessa Occidental                      | <i>Vanessa annabella</i>         | ✓✓  |      |
|                      | Vanessa Americana                       | <i>Vanessa virginiensis</i>      | ✓✓  |      |

| [1] [2] [3]          | Nombre común                       | Nombre científico                   | [4] | Fig. |
|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----|------|
| <b>Papilionoidea</b> |                                    |                                     |     |      |
| Papilionidae         |                                    |                                     |     |      |
| Papilioninae         |                                    |                                     |     |      |
|                      | Mariposa Cometa Quexquémetl        | <i>Papilio garamas</i>              | ✓✓  | 14   |
|                      | Mariposa Cometa Xochiquetzal       | <i>Papilio multicaudata</i>         | ✓   | 15   |
|                      | Mariposa Cometa Negra              | <i>Papilio polyxenes</i>            | ✓✓  | 16   |
|                      | Mariposa Cometa de Manchas Rosas   | <i>Papilio rogeri phar-naces</i>    | ✓✓  | 17   |
| Pieridae             |                                    |                                     |     |      |
| Coliadinae           |                                    |                                     |     |      |
|                      | Mariposa Amarilla Salomé           | <i>Abaeis salome</i>                | ✓✓  |      |
|                      | Mariposa Azufre Elegante           | <i>Nathalis iole</i>                | ✓✓  |      |
|                      | Mariposa Azufre Sin Nubes          | <i>Phoebis sennae</i>               | ✓✓  | 18   |
|                      | Mariposa de Puntas Naranjas        | <i>Pyrissitia proterpia</i>         | ✓   |      |
|                      | Mariposa Cara de Perro Sureña      | <i>Zerene cesonia</i>               | ✓✓  | 19   |
| Pierinae             |                                    |                                     |     |      |
|                      | Mariposa Dardo Blanco Mexicana     | <i>Catasticta nimbece</i>           | ✓✓  | 20   |
|                      | Mariposa Blanca Gigante Florida    | <i>Glutophrissa drusilla tenuis</i> | ✓   | 21   |
|                      | Mariposa Blanca de la Col          | <i>Leptophobia aripa elodia</i>     | ✓   | 22   |
|                      | Mariposa Blanca con Parches Negros | <i>Pontia protodice</i>             | ✓✓  | 23   |

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica, nombre común y nombre científico de las 33 especies de polillas y mariposas registradas en el Jardín Botánico Universitario de la BUAP (JBU). Se indican la superfamilia (columna [1]; terminación -oidea), la familia (columna [2]; terminación -idae) y la subfamilia (columna [3]; terminación -inae) a las que pertenece cada especie. Una marca de color rojo (✓) (columna [4]) indica que la especie ha sido registrada dentro del JBU por otros observadores en la plataforma Naturalista, pero no por nosotros; una marca de color negro (✓) indica que la especie ha sido registrada por otros observadores y también por nosotros, y dos marcas de color negro (✓✓) indican que nuestras observaciones constituyen nuevos registros dentro del JBU. Finalmente, se indica la fotografía que ilustra a 23 especies (columna Fig.).

como los recursos disponibles en plataformas de ciencia ciudadana, como Naturalista (<https://www.naturalista.mx/>) y Mariposas de América (<http://butterfliesofamerica.com/intro.htm>).

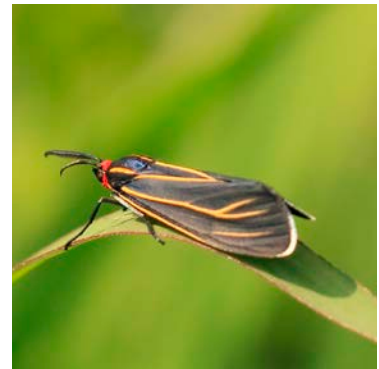
Nuestro trabajo de campo aporta al Jardín nuevos registros de 23 especies de lepidópteros (Tabla 1) y confirma la presencia de ocho especies que, al 10 de junio de 2022, ya se habían registrado en Naturalista. Esta plataforma incluye también los registros de dos especies que nosotros no hemos observado todavía en el Jardín: la Mariposa Sedosa Verde de Bordo Café (*Cyanophrys longula*) y la Mariposa de



**Figura 1.** Polilla Constelación (*Copaxa multifenestrata*).



**Figura 2.** Polilla Colibrí (*Aellopos clavipes*).



**Figura 3.** Polilla Tigre Venosa (*Ctenucha venosa*).

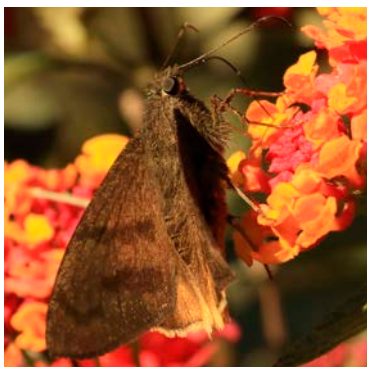
Puntas Naranjas (*Pyrisitia proterpia*). Combinando todos los registros que nosotros hemos obtenido con los de NaturaLista, hasta la fecha se han registrado 4 especies de polillas y 29 de mariposas en el Jardín (Tabla 1); de estas 33 especies, 23 aparecen ilustradas en este artículo.

Estas cifras son de un orden de magnitud similar a la riqueza de especies que otros autores han registrado en áreas de estudio cercanas. Por ejemplo, Flores Hernández (2011) publicó un listado preliminar que incluía 32 especies de mariposas diurnas en Cholula, y Barranco León (2013) dio a conocer un listado con 72 especies de lepidópteros diurnos, cuya distribución potencial cubre el municipio de Puebla, de los cuales observó solo 32. A continuación, comentamos los registros de algunas especies notables en el Jardín.

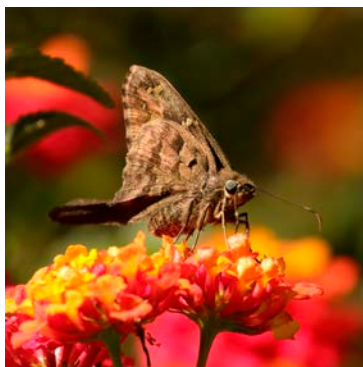
#### ESPECIES NOTABLES

- **Polilla Constelación** (*Copaxa multifenestrata*) [Figura 1]. Es un lepidóptero principalmente nocturno, con una envergadura aproximada de unos 8 a 10 cm (lo que, en adelante, indicaremos simplemente “E: 8-10 cm”). Su oruga es muy vistosa, de color verde con áreas oscuras, con espinas como defensa. Habita principalmente en bosques de encino, así como en parques con árboles dispersos (como el pirul, *Schinus molle*) y jardines, de áreas con climas subtropicales y templados. En la Figura 1 se observa cómo un Tirano Tropical (*Tyrannus melancholicus*) capturó e ingirió (no sin dificultades) una Polilla Constelación. Lo cual ilustra otra de las importantes funciones ecológicas que los lepidópteros realizan en la naturaleza, pues son presa habitual de muchas especies de depredadores.

**Figura 4.** Saltarina Relámpago de Punta Amarilla (*Telegonus anausis annetta*).

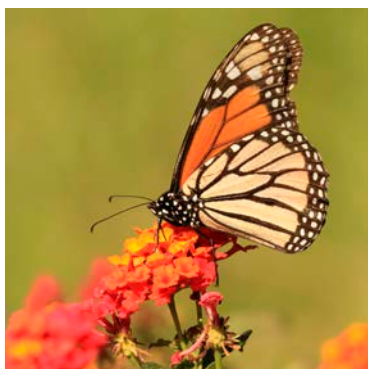


**Figura 5.** Saltarina de Cola Larga Común (*Thorybes dorantes*)

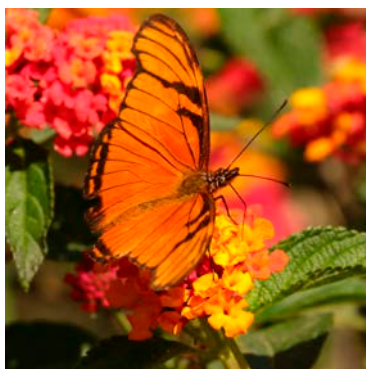


**Figura 6.** Mariposa Ojo de Venado Común (*Junonia coenia*).

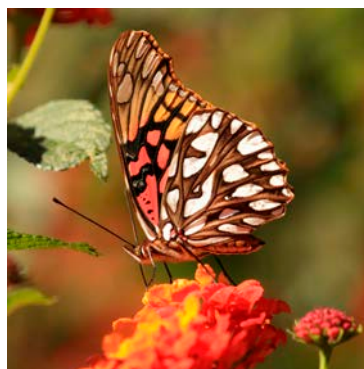




**Figura 7.** Mariposa Monarca (*Danaus plexippus*).



**Figura 8.** Mariposa Pasionaria de Alas Largas (*Dione juno*).



**Figura 9.** Mariposa Pasionaria (*Dione moneta*).

• **Polilla Colibrí** (*Aellopos clavipes*) [Figura 2]; E = 4-5 cm. Por su notable tamaño, los observadores novatos podrían llegar a confundir esta polilla con los colibríes. Habita en bosques templados, áreas urbanas, parques y jardines, de áreas templadas y subtropicales. Puede observarse alimentándose de flores de asteráceas desde julio hasta septiembre.

• **Mariposa Monarca** (*Danaus plexippus*) [Figura 7]; E = 8-10 cm. Podemos observar fácilmente estas bellas mariposas en el Jardín, y disfrutar así de uno de los iconos de la conservación de la naturaleza en nuestro país. De hecho, el descubrimiento y los esfuerzos realizados para conservar las colonias que hibernan en los bosques de oyamel (*Abies religiosa*) de los estados de México y Michoacán se han considerado como uno de los casos de éxito de la conservación del

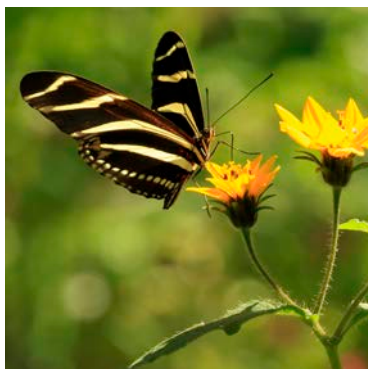
patrimonio natural de México; sin embargo, aún queda mucho por hacer.

• **Mariposa Pasionaria** (*Dione moneta*) [Figura 9]; E = 7-8 cm. Habita en bosques de encino, matorrales, áreas abiertas con árboles dispersos, áreas urbanas, parques y jardines, de áreas con climas subtropicales y templados. Puede observarse durante todo el año, y resulta más frecuente de agosto a diciembre.

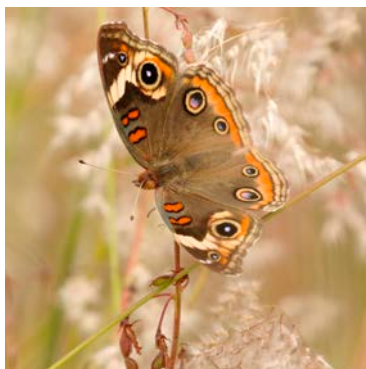
• **Mariposa Cebra de Alas Largas** (*Heliconius charithonia*) [Figura 10]; E = 7-10 cm. Su oruga es blanca con largas espinas negras y manchas laterales, también de color negro. Habita principalmente en bosques de encino de áreas subtropicales y templadas; más rara en parques y jardines. Puede observarse entre junio y diciembre.

• **Mariposa Ojo de Venado Común** (*Junonia coenia*) [Figura 11]; E = 4-7 cm. Por sus patrones

**Figura 10.** Mariposa Cebra de Alas Largas (*Heliconius charithonia*).

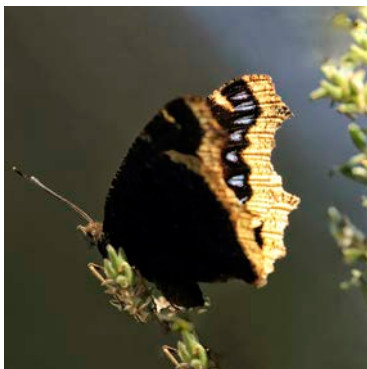


**Figura 11.** Mariposa Ojo de Venado Común (*Junonia coenia*).

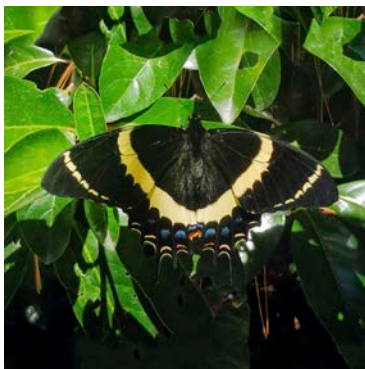


**Figura 12.** Mariposa Lunita Tejana (*Anthanassa texana*).

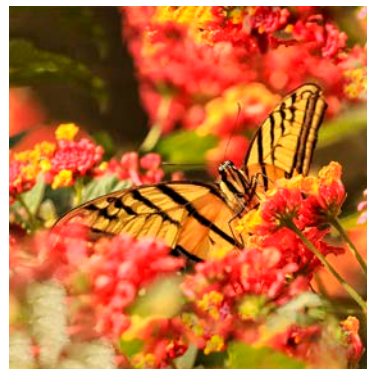




**Figura 13.** Mariposa Velo de Duelo (*Nymphalis antiopa*).



**Figura 14.** Mariposa Cometa Queexquémetl (*Papilio garamas*).



**Figura 15.** Mariposa Cometa Xochiquetzal (*Papilio multicaudata*).

de coloración, es una bella mariposa. Su oruga es negra con manchas azules, y espinas laterales y dorsales. Habita principalmente en bosques templados, o zonas abiertas, de áreas con climas subtropicales; ocasionalmente puede observarse en parques y jardines. Podemos disfrutar de la presencia de esta especie desde junio hasta diciembre.

- **Mariposa Lunita Tejana** (*Anthanassa texana*) [Figura 12]; E = 4-5 cm. Habita en bosques templados con árboles dispersos, encinos, matorral espinoso, veredas, etc., así como en áreas urbanas. Puede observarse desde marzo hasta agosto.

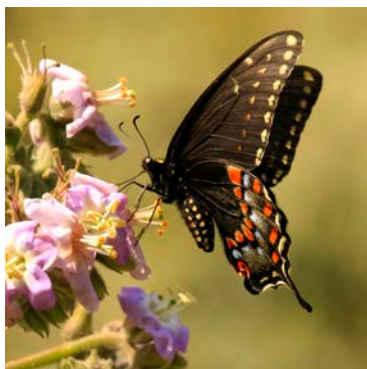
- **Mariposa Velo de Duelo** (*Nymphalis antiopa*) [Figura 13]; E = 7-8 cm. Su oruga es espinosa, de color negro con pequeños puntos blancos; el dorso tiene grandes puntos rojos. Habita bosques de pino encino, áreas con árboles dispersos, parques y

jardines, de regiones con climas fríos, subtropicales y templados. Puede observarse durante todo el año, principalmente entre julio y noviembre.

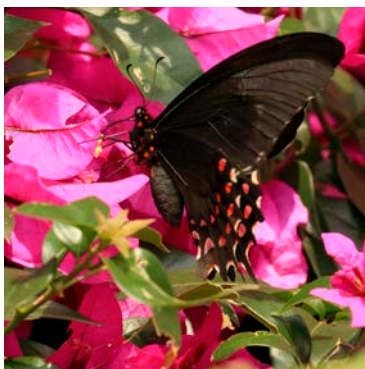
- **Mariposa Cometa Negra** (*Papilio garamas*) [Figura 14]; E = 12-13 cm. Es una bella mariposa, vistosa y grande; su oruga también es grande, de color café, con manchas oscuras en el dorso. Habita en bosques, áreas urbanas, parques, jardines.

- **Mariposa Cometa Xochiquetzal** (*Papilio multicaudata*) [Figura 15]; E = 12-13 cm. Su nombre proviene del náhuatl Xochiquetzalli, que significa flor hermosa. Es también una bella mariposa, vistosa y grande; su oruga también es grande, de color verde, con dos manchas como ojos en el tórax (una adaptación para intimidar a los depredadores). Habita en bosques de encinos, áreas con árboles dispersos, parques, jardines, calles y caminos urbanos.

**Figura 16.** Mariposa Cometa Negra (*Papilio polyxenes*).

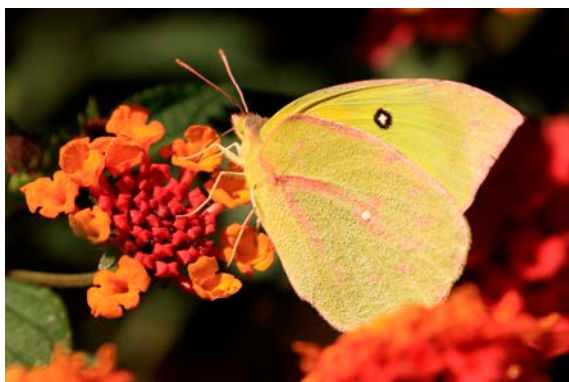


**Figura 17.** Mariposa Cometa de Manchas Rosas (*Papilio rogeri pharnaces*).

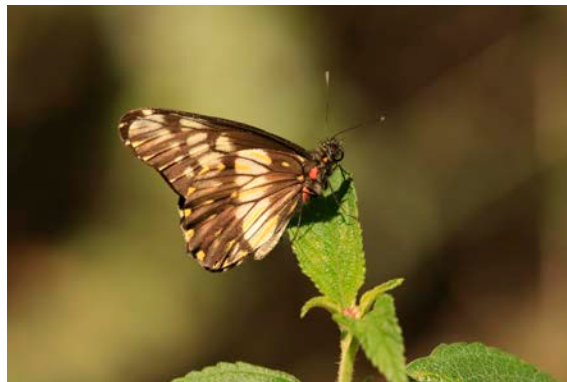


**Figura 18.** Mariposa Azufre Sin Nubes (*Phoebis sennae*).





**Figura 19.** Mariposa Cara de Perro Sureña (*Zerene cesonia*).



**Figura 20.** Mariposa Dardo Blanco Mexicana (*Catasticta nimbice*).

- **Mariposa Cometa de Manchas Rosas** (*Papilio rogeri pharnaces*) [Figura 17]; E = 8-9 cm. También es una mariposa grande. Habita en áreas templadas y subtropicales, en laderas, bosques abiertos, parques y jardines. Puede observarse como adulto desde febrero hasta octubre.

- **Mariposa Azufre Sin Nubes** (*Phoebis sennae*) [Figura 18]; E = 6-7 cm. Su oruga puede ser de color amarillo y/o verde. Habita en bosques y áreas abiertas, parques y jardines, de áreas con climas tropicales, subtropicales y templados. Puede verse principalmente de junio a noviembre.

- **Mariposa Dardo Blanco Mexicana** (*Catasticta nimbice*) [Figura 20]; E = 2-5 cm. Su oruga es de color café rojizo con puntos negros. Habita en bosques, áreas con árboles dispersos, veredas con vegetación arbustiva, así como en parques y jardines, de regiones subtropicales y templadas. Puede observarse durante todo el año, principalmente de agosto a febrero.

- **Mariposa Blanca de la Col** (*Leptophobia aripa*) [Figura 22]; E = 5-6 cm. Habita en bordes de bosques, áreas con árboles dispersos, caminos bordeados de bosque y arbustos. Es fácil de observar en parques con áreas de vegetación baja y terrenos baldíos con plantas herbáceas.

## REFLEXIONES FINALES

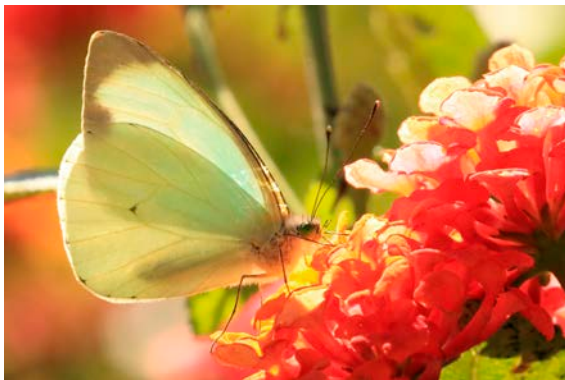
Las poblaciones de muchas especies de mariposas y polillas están amenazadas por la pérdida de sus

hábitats naturales, de los que dependen para completar sus complejos ciclos biológicos. La contaminación mediante productos químicos aplicados con fines diversos en la agricultura (vg., insecticidas) supone otro problema. Afortunadamente, todos podemos apoyar la conservación de las mariposas y polillas mediante algunas medidas sencillas. Por ejemplo, en toda América del Norte, y cada vez con más frecuencia, se crean y mantienen a distintas escalas jardines ricos en plantas con flores para polinizadores, incluyendo jardines para mariposas (Footitt y Adler, 2017).

De este modo podemos disfrutar de la belleza de las especies que visitan nuestros jardines, familiarizarnos con su diversidad y contribuir también a mejorar su estado de conservación. Estos mismos jardines pueden ser utilizados como recursos didácticos en educación ambiental, que permitan al público en

**Figura 21.** Mariposa Blanca Gigante Florida (*Glutophrissa drusilla tenuis*).





**Figura 22.** Mariposa Blanca de la Col (*Leptophobia aripa elodia*).

general conocer la fracción de la biodiversidad con la que están en contacto, y que revelen la necesidad de su conservación. Por otro lado, para conservar mejor la diversidad de mariposas y polillas que comparten sus hábitats naturales con nosotros, es esencial contar con una mejor documentación y educación sobre la realidad de este grupo animal. Presumiblemente, entre las mariposas, la mayor diversidad de especies se encuentra entre las de menor tamaño; precisamente, las que suelen estar peor estudiadas. Sin duda, la observación con binoculares de las mariposas más pequeñas, y su fotografía con cámaras digitales y lentes macro, ayudará a mejorar nuestro conocimiento de esta fracción de la biodiversidad del Jardín Botánico Universitario de la BUAP.

## NOTAS

<sup>1</sup> En el capítulo de Footitt y Adler (2017) correspondiente al orden Coleoptera se estima que, en todo el mundo, se han descrito 386,755 especies de escarabajos.

<sup>2</sup> Footitt y Adler (2017) estiman que, en todo el mundo, se han descrito 1,060,704 especies de insectos (clase Insecta), que suponen el 61-71 % de los seres vivos eucariotas conocidos (estimado en 1.50-1.74 millones de especies).

<sup>3</sup> En los capítulos de Footitt y Adler (2017) correspondientes a los órdenes Diptera y Lepidoptera se estima que, en todo el mundo, se han descrito 157,971 especies de moscas, mosquitos, tábanos y especies relacionadas vs. 157,761 de mariposas y polillas.

## REFERENCIAS

Barranco León MN (2013) Mariposas. Pp. 37-48, en Hernández Castán J, Jiménez Moreno FJ, Mendoza Cuamatzi R (Coords.) (2013). *Biodiversidad del Municipio de Puebla*. Puebla: UPAEP, BUAP.



**Figura 23.** Mariposa Blanca con Parches Negros (*Pontia protodice*).

Escuela de Biología BUAP, Gobierno Municipal de Puebla, Azul & Verde Biología Integral, Jardín Etnobotánico Francisco Peláez R, CONABIO.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (2011). *La Biodiversidad en Puebla. Estudio de Estado*. Puebla: CONABIO, Gobierno del Estado de Puebla, BUAP.

Flores Hernández J (2011). Listado preliminar de mariposas diurnas de Cholula. *Elementos*, 83:25-28.

Footitt RG and Adler PH (Eds.) (2017). *Insect Biodiversity. Science and Society, Vol. 1*. 2nd Ed. Hoboken & Chichester: John Wiley & Sons.

Glassberg J (2017). *A Swift Guide to Butterflies of Mexico and Central America*. Second Edition. Princeton and Oxford: Princeton University Press.

González Oreja JA, Jiménez Moreno FJ y García Chávez JH (2019). Aves comunes en Ciudad Universitaria de la BUAP. *Elementos*, 114: 47-53.

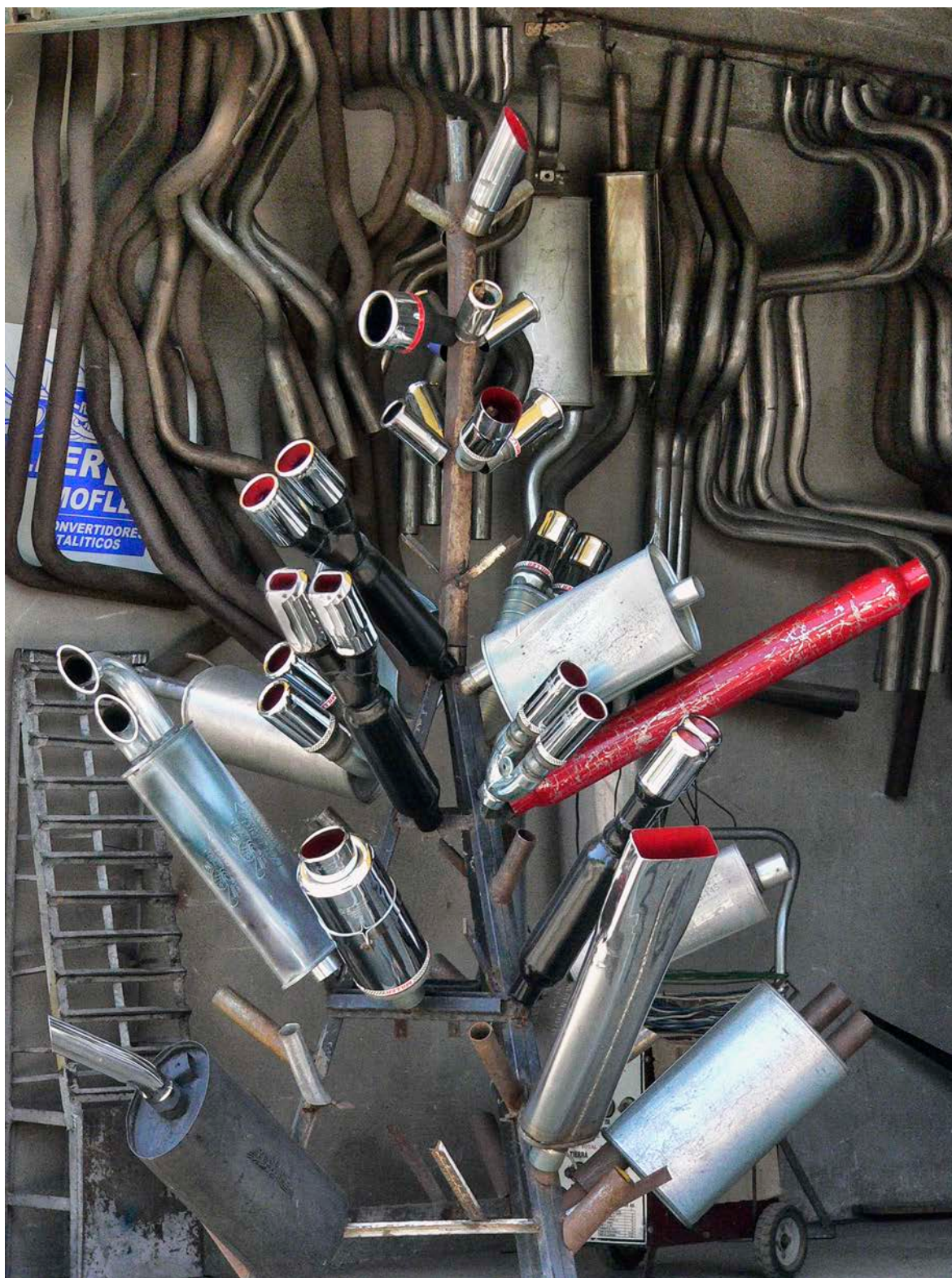
Gullan PJ and Cranston PS (2014). *The Insects. An Outline of Entomology*. Fifth Ed. Chichester: Wiley-Blackwell.

Llorente Bousquets J, Vargas Fernández I, Luis Martínez A, Trujano Ortega M, Hernández Mejía BC y Warren AD (2014). Biodiversidad de Lepidoptera en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S353-S371.

Orta SC, Reyes-Agüero JA, Luis-Martínez MA, Muñoz-Robles CA y Méndez CH (2022). Mariposas bioindicadoras ecológicas en México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 38: 1-33.

Vila R (2012). Lepidópteros. Pp. 343-351, en Vargas P, Zardoya R (Eds.) *El Árbol de la Vida: Sistemática y Evolución de los Seres Vivos*. Madrid: Pablo Vargas y Rafael Zardoya (Eds.).

**José Antonio González Oreja**  
**César Antonio Sandoval Ruiz**  
**Francisco Javier Jiménez Moreno**  
**Facultad de Ciencias Biológicas**  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
[jgonzorj@hotmail.com](mailto:jgonzorj@hotmail.com)



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2006.

# Resistencia bacteriana a los antibióticos: es tiempo de tomar conciencia y acción

Federico Alonso **Zumaya-Estrada**  
Alejandro **Alvarado-Delgado**  
Celia Mercedes **Alpuche-Aranda**

Se conocen comúnmente como antibióticos los medicamentos usados para prevenir y combatir a las infecciones causadas por bacterias, ya sea matándolas o impidiendo su multiplicación. Seguramente, en algún momento de nuestra vida, casi todos hemos necesitado tomar antibióticos para ayudarnos a recuperar la salud. Pero hace no tanto tiempo, a principios de 1900, cuando los antibióticos no habían sido descubiertos, las cosas eran diferentes. Una simple infección bacteriana implicaba sufrimiento y un elevado riesgo de muerte. No fue hasta 1928, con el descubrimiento de la penicilina por el británico Alexander Fleming, que inició la era de los antibióticos, cuya introducción a la práctica clínica en la década de 1940 se considera uno de los avances médicos más significativos del siglo XX.

Hoy en día, los antibióticos continúan siendo el principal arsenal farmacológico que define nuestra capacidad para hacer frente a las infecciones por bacterias. Su función es esencial para tratar a quienes enferman, prevenir infecciones en personas que luchan contra el cáncer o padecen afecciones crónicas o debilitantes del sistema inmune, y mejorar la seguridad de numerosos

procedimientos médicos y quirúrgicos. La eficacia de los antibióticos se traduce en miles de vidas salvadas a diario en todo el mundo.

#### **LOS ANTIBIÓTICOS NO SIRVEN PARAR TRATAR TODOS LOS MALESTARES**

Los antibióticos solo son eficaces para combatir a las bacterias, es decir, no actúan contra la mayoría del resto de las infecciones ocasionadas por otros tipos de microbios, incluyendo a los virus del resfriado común o la influenza. En realidad, tampoco es estrictamente necesario tomar antibióticos para todas las infecciones bacterianas; por ejemplo, algunas diarreas, sinusitis e infecciones del oído pueden resolverse por sí solas, sin necesidad de tratamiento farmacológico con antibióticos. Solo en ciertos pacientes con sistema inmune debilitado o con cuadros clínicos graves causados por virus (por ejemplo, COVID-19), los antibióticos pueden ser útiles para prevenir infecciones secundarias por bacterias; sin embargo, este tipo de tratamientos

solo deben realizarse en un medio hospitalario y bajo estricta supervisión médica.

#### **TOMAR ANTIBIÓTICOS NO ESTÁ LIBRE DE RIESGOS PARA LA SALUD**

En algunas personas, los antibióticos pueden producir efectos adversos, algunos leves, como salpido y náuseas, hasta reacciones alérgicas graves. De forma mucho más frecuente, el consumo de antibióticos también puede acarrear consecuencias negativas a las personas debido a que sus mecanismos de acción no distinguen entre las bacterias patógenas (es decir, que causan daño), y las que conforman la microbiota normal que coloniza varios sitios del cuerpo (por ejemplo, la piel y el tracto digestivo), donde cumplen funciones básicas para nuestro bienestar. La reducción de la microbiota intestinal a consecuencia del consumo inadecuado o prolongado de antibióticos puede ocasionar un estado de desequilibrio bacteriano por semanas o incluso meses, que genera condiciones favorables



para la proliferación de bacterias patógenas que pueden desencadenar diarreas o colitis muy severas (Mullish *et al.*, 2018). Eso sí, debemos dejar en claro que cuando los antibióticos son necesarios y se usan adecuadamente, sus beneficios superan por mucho a los riesgos. Pero, por desgracia, a menudo las personas consumen antibióticos de forma inadecuada o innecesaria para su atención médica. El mal uso de los antibióticos es la principal causa de la selección y dispersión de bacterias capaces de resistir sus efectos; fenómeno biológico al que se le conoce como resistencia bacteriana.

#### **RESISTENCIA BACTERIANA:**

##### **EL GRAN ENEMIGO DE LOS ANTIBIÓTICOS**

La resistencia bacteriana es la capacidad de las bacterias de sobrevivir o multiplicarse en presencia de concentraciones de uno o más antibióticos que antes podían eliminarlas o controlarlas. Cabe mencionar que esta definición corresponde particularmente a la resistencia bacteriana de tipo adquirida, puesto que también existe la resistencia intrínseca o “natural” de ciertos grupos bacterianos a determinados antibióticos, y que no es el punto central de este trabajo.

Para entender mejor cómo surge la resistencia bacteriana debemos recordar que, al igual que los demás organismos vivos, las bacterias son productos de la evolución biológica a lo largo de miles de millones de años. La evolución de las bacterias es darwiniana: frente a señales y cambios en el ambiente, tal como la exposición a sustancias capaces de matarlas como los antibióticos, las más aptas son las que sobreviven y se reproducen. Y estas sustancias han estado en el ambiente por largo tiempo, ya que muchos de los antibióticos son producidos por otros organismos como los hongos en el caso de las penicilinas o incluso por bacterias, como la colistina, la vancomicina y la gentamicina, por mencionar algunos ejemplos. En buena medida, el éxito de las bacterias para continuar sobreponiéndose al sinfín de desafíos ambientales durante tanto tiempo se debe a las mutaciones, es decir, los cambios espontáneos y aleatorios en la secuencia de ADN

(ácido desoxirribonucleico) de cualquier gen, que pueden ocurrir durante el proceso de reproducción bacteriana. Cuando las mutaciones confieren una ventaja para la sobrevivencia de la bacteria, se “fijan” y son heredadas a las próximas generaciones. Así, la presencia de un antibiótico (en el torrente sanguíneo de una persona, por ejemplo) elimina a las bacterias susceptibles, pero también ejerce presión para la selección de bacterias con mutaciones o elementos genéticos que les permiten resistir a la acción del fármaco. En esta carrera por la sobrevivencia están involucrados numerosos genes de resistencia que participan en mecanismos moleculares para prevenir la entrada de los antibióticos a la bacteria o expulsarlos de esta, o la producción de un arsenal de enzimas capaces de destruir a los antibióticos, entre otros. Por si fuera poco, las bacterias también poseen una alta “flexibilidad” genética que les permite adquirir, modificar o transferir material genético de resistencia entre sus congéneres, incluso de diferentes especies, en elementos genéticos móviles llamados plásmidos o por virus capaces de infectarlas (bacteriófagos). Así, en poco tiempo, unas cuantas bacterias resistentes pueden generar grandes poblaciones resistentes de múltiples especies (revisado en Munita y Arias, 2016).

Debido a sus profundos orígenes biológicos, la resistencia bacteriana es inevitable en buena medida. Sin embargo, la exposición innecesaria de las bacterias a los antibióticos puede aumentar drásticamente el ritmo de selección de la resistencia bacteriana, poniendo en riesgo la salud de las personas, los animales y el ambiente.

#### **OBTENER ANTIBIÓTICOS PUEDE SER TAN FÁCIL COMO IR AL CONSULTORIO DE LA ESQUINA**

El mal uso de los antibióticos en los sitios de atención médica contribuye a agudizar el problema de la resistencia bacteriana en la comunidad. En los consultorios médicos, como los de “orientación gratuita” que podemos encontrar adyacentes a las

farmacias, los antibióticos pueden ser recetados para “tratar” enfermedades que no los necesitan. Sobre esta realidad confluye una serie de factores de quienes prescriben, de los pacientes y de las mismas farmacias. Por parte de los prescriptores puede deberse a inexperiencia clínica o a una limitada consciencia sobre el uso de los antibióticos y sus consecuencias. Igualmente puede influir la sobrecarga de trabajo y la falta de pruebas o herramientas de diagnóstico necesarias para determinar el tipo de microbio que causa las infecciones en los pacientes (Teixeira *et al.*, 2013). En algunos pacientes también persiste la falsa creencia de que para curarse siempre deben tomar antibióticos y exigen a los médicos que se los receten (Stivers, 2021). También se ha documentado la existencia de estímulos económicos perversos que las farmacias ofrecen a los médicos o a sus dependientes de mostrador sobre el volumen de antibióticos recetados o vendidos (Funsalud, 2014). Hoy en día, es prácticamente imposible estimar con precisión cuáles y cuántos son los antibióticos recetados a diario a las personas en los miles de consultorios médicos anexos a las farmacias de todo el país.

#### **BACTERIAS RESISTENTES: DE LAS GRANJAS A LA MESA Y DE LA MESA AL HOSPITAL**

A animales sanos de muchos sitios de producción pecuaria, como vacas, cerdos, aves y peces, les son suministradas constantemente concentraciones sub-óptimas de antibióticos en el alimento, bajo la suposición de estimular su crecimiento o evitar la aparición de enfermedades. Para ello, las granjas usan antibióticos de las mismas clases farmacológicas empleadas para tratar infecciones en las personas (por ejemplo, cefalosporinas de tercera generación), en su afán de subsanar deficiencias de saneamiento, vacunación y malas prácticas de crianza animal. Se estima que hasta ocho de cada diez antibióticos consumidos en algunos países son “derramados” en el sector de producción agropecuaria; ello pese a que estas prácticas contravienen

múltiples recomendaciones internacionales que advierten sobre el altísimo riesgo de selección de bacterias resistentes (por ejemplo, *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina) y los estragos que estas acarrearán para la salud y el ambiente (Man-yi-Loh *et al.*, 2018).

Cabe recordar que, al igual que las personas, los animales albergan millones de bacterias en su tracto digestivo que rápidamente pueden transformarse en resistentes con la exposición reiterada a antibióticos en el alimento. Las bacterias resistentes son continuamente expulsadas al ambiente en las heces, donde contaminan los suelos y el agua. Una vez ahí, también pueden contaminar las hortalizas, la carne, la leche o cualquier otro alimento con los que en algún momento entren en contacto (incluyendo durante su manipulación o preparación) y producir infecciones intestinales graves tras su consumo. Estas infecciones pueden propagarse de persona a persona por la vía fecal-oral y recorrer grandes distancias dada la facilidad y frecuencia con la que ahora nos desplazamos entre localidades o incluso países. De este mismo modo, los productos contaminados de origen animal o vegetal, producidos en algún país de otro continente, están a solo uno o dos días de la mayoría de las ciudades del mundo a través de las rutas de comercio internacional. Una vez que estos alimentos con bacterias resistentes llegan al mercado local, se encuentran solo a unos cuantos pasos de la cocina y mesa de nuestros hogares.

Si bien cualquier persona puede padecer los estragos de las infecciones por bacterias resistentes, los niños y adultos mayores son quienes más frecuentemente terminan requiriendo atención médica. Cuando esto ocurre, es probable que la primera opción de tratamiento esté basada en antibióticos de las mismas clases farmacológicas a las que las bacterias ya fueron expuestas en las granjas y ahora son resistentes. Al fallar sus tratamientos, muchos de estos pacientes terminarán en los hospitales, donde requerirán de antibióticos de último recurso que actúan sobre múltiples especies diferentes de bacterias, es decir, de antibióticos de amplio espectro, los cuales son más costosos y que, paradójicamente,



© Enrique Soto. Serie “Mofles”, 2016.

pueden agravar aún más la selección de bacterias resistentes. El cuidado de estos pacientes también implica un alto riesgo de diseminación de bacterias resistentes al interior de los hospitales, donde pueden producir nuevas infecciones y representar una severa amenaza para la vida de otros pacientes, principalmente aquellos en los extremos de la edad o con padecimientos debilitantes del sistema inmune.

#### **VIGILAR Y OPTIMIZAR EL USO DE LOS ANTIBIÓTICOS SON RETOS CONSTANTES DE LOS HOSPITALES**

Los antibióticos son un recurso de primer orden para la atención médica en los hospitales, lo que implica retos día a día para vigilar y asegurar su uso óptimo en los pacientes. Se estima que más de la mitad de los pacientes hospitalizados reciben al menos un antibiótico; sin embargo, una buena proporción de estas terapias no son apropiadas o necesarias (Fridkin *et al.*, 2014). Esta situación obedece en buena medida a la insuficiencia de la vigilancia sobre la prescripción de los antibióticos en los hospitales. Si bien tal deficiencia se observa

a escala global, se acentúa en los hospitales de países de ingresos bajos y medios, incluyendo a México, muchos de los cuales enfrentan barreras para establecer y sostener programas especializados para optimizar el uso de los antibióticos y minimizar sus efectos indeseables. Aunado a lo anterior, el uso racional de los antibióticos en los hospitales ahora enfrenta nuevos retos sin precedentes debido a la pandemia por el virus SARS-CoV-2, cuya infección no se previene ni trata con antibióticos, pero que ha traído consigo un aumento del consumo de estos medicamentos y la frecuencia de infecciones resistentes (PAHO, 2022).

Recientemente, la Organización Mundial de la Salud (OMS) desarrolló un protocolo para la vigilancia del uso de los antibióticos basado en encuestas de prevalencia puntual que son aplicadas sobre los registros médicos de los pacientes (WHO, 2018). Este método de vigilancia ha sido conducido con éxito en hospitales de distintos países, incluyendo algunos hospitales públicos mexicanos, para conocer



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2016.

y comparar cuáles, cuántos y cómo son usados los antibióticos en las personas que se encuentran hospitalizadas al momento de las encuestas (Zumaya-Estrada *et al.*, 2021). Toda esta información es valiosa para identificar objetivos específicos que optimicen la calidad e idoneidad de prescripción de los antibióticos en los hospitales encuestados.

#### **LA PRÓXIMA CATÁSTROFE SANITARIA PODRÍA SER POR FALTA DE ANTIBIÓTICOS EFICACES**

La COVID-19, junto con otras enfermedades por virus emergentes y reemergentes, como el Zika, la fiebre chikungunya o la viruela símica, nos recuerdan que las enfermedades infecciosas están lejos de dejar de causar estragos a la humanidad.

Pero a diferencia de estos eventos de salud que repentinamente acaparan los titulares, de manera mucho más sigilosa, la resistencia bacteriana amaga con desarmarnos frente a los embates de cientos de bacterias patógenas capaces de enfermarnos gravemente. Día a día son más frecuentes las infecciones resistentes, como neumonías, tuberculosis, gonorrea y salmonelosis, cuyo tratamiento efectivo es cada vez más difícil o imposible debido a la pérdida de eficacia de los antibióticos. Aunado a este panorama, desde hace años persiste un estancamiento global en la producción de nuevos antibióticos y no es de prever que ninguno de los pocos antibióticos en desarrollo sea eficaz contra algunas bacterias extremadamente resistentes que hoy existen.

De seguir con esta tendencia, el escenario más alarmante estima que, para 2050, la falta de antibióticos

eficaces resultaría en la muerte de 10 millones de personas cada año (O'Neill, 2014).

#### **¿QUÉ HACER ANTE LA AMENAZA DE LA RESISTENCIA BACTERIANA?**

No existe una estrategia que provea una solución definitiva para ralentizar el problema de la resistencia bacteriana, pero el principio de acción con mejor relación costo-beneficio es la prevención: infección que se previene no necesita tratamiento. Prevenir las infecciones en la población requiere del fortalecimiento de la atención primaria de salud para garantizar el acceso efectivo y oportuno a vacunas e intervenciones comunitarias basadas en el autocuidado y la educación para la salud. Pero, sobre todo, precisa del compromiso a nivel personal para la adopción rutinaria de medidas básicas para la prevención de las infecciones, como el lavado de manos, la higiene alimentaria, la vacunación y las relaciones sexuales seguras.

Cuando ya se han producido las infecciones, los prescriptores de los consultorios médicos y hospitales deben asegurarse de usar los antibióticos apropiadamente y solo cuando sean necesarios. En tanto que los sistemas de salud deben de vigilar y procurar que así sea. El papel de las personas que padecen las infecciones también cuenta y mucho. Toca sumar cambios de comportamiento, evitando la creencia sobre que los antibióticos son indispensables para todas las infecciones, y cuando han sido recetados, procurando su consumo responsable, siguiendo al pie de la letra las indicaciones médicas.

#### **CONCLUSIÓN**

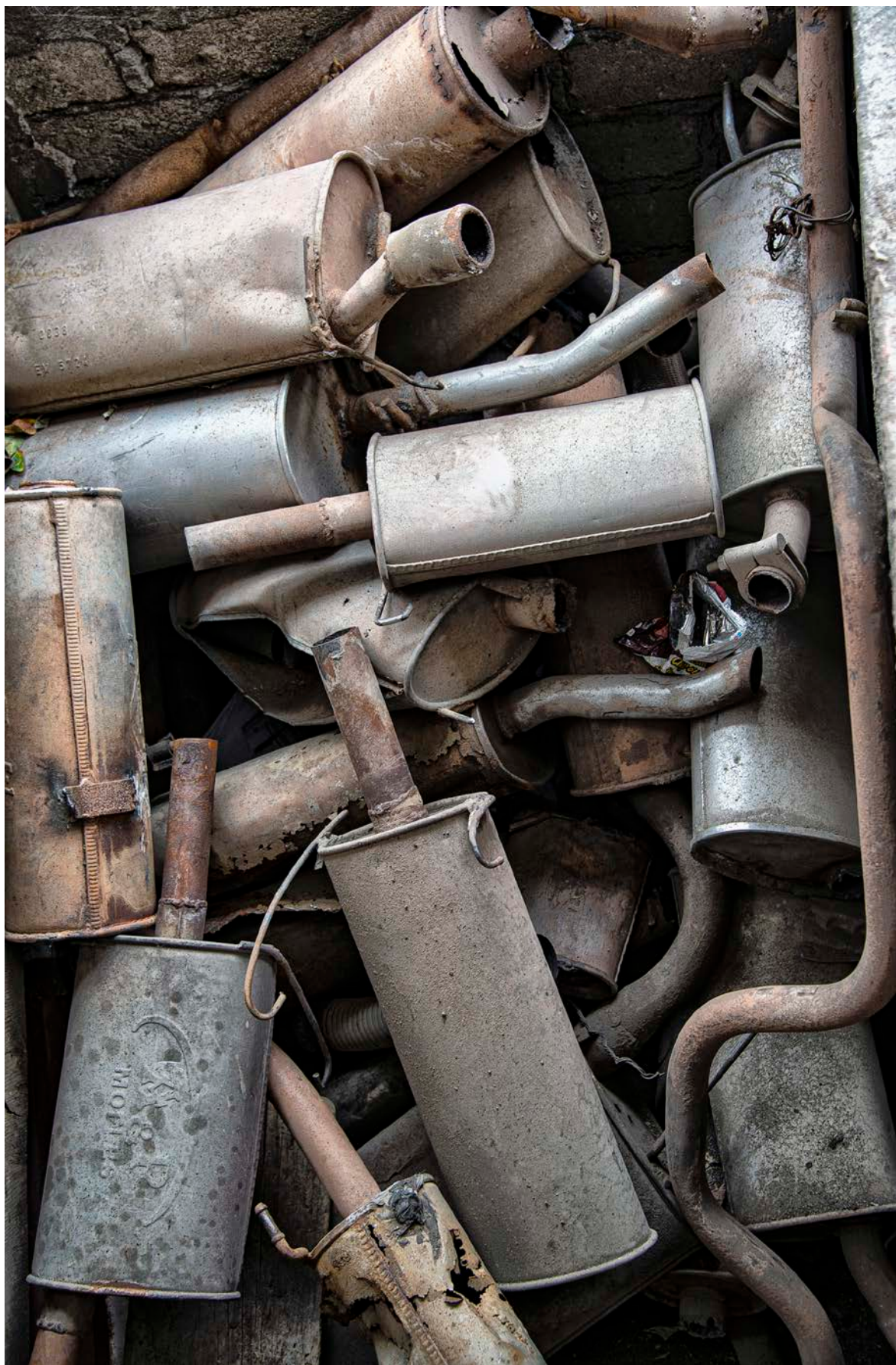
Nuestra capacidad para hacer frente a las infecciones bacterianas es frágil y depende completamente de conservar la eficacia de los antibióticos. La humanidad se encuentra en desventaja en la carrera armamentista contra las bacterias, puesto que su ritmo de evolución por la sobrevivencia siempre será más rápido al del desarrollo de cualquier antibiótico por descubrir. Sin embargo, también es

una realidad que la aparición y dispersión de la resistencia bacteriana puede mitigarse, pero ello no es cuestión de balas de plata, sino de reflexión, consciencia y acción individual y colectiva para prevenir las infecciones y usar los antibióticos responsablemente en todos los sectores.

#### **R E F E R E N C I A S**

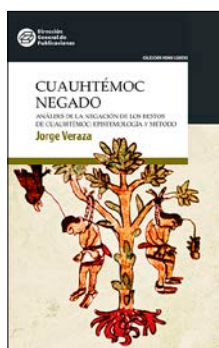
- Fridkin S, Baggs J, Fagan R *et al* (2014). Vital signs: improving antibiotic use among hospitalized patients. Recuperado de: <https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6309a4.htm>.
- FUNSALUD (2014). Estudio sobre la práctica de la atención médica en consultorios médicos adyacentes a farmacias privadas. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/305319200\\_Estudio\\_sobre\\_la\\_practica\\_de\\_la\\_atencion\\_medica\\_en\\_consultorios\\_medicos\\_adyacentes\\_a\\_farmacias\\_privadas](https://www.researchgate.net/publication/305319200_Estudio_sobre_la_practica_de_la_atencion_medica_en_consultorios_medicos_adyacentes_a_farmacias_privadas).
- Manyi-Loh C, Mamphweli S, Meyer E *et al*. (2018). Antibiotic Use in Agriculture and Its Consequential Resistance in Environmental Sources: Potential Public Health Implications. *Molecules* 23:795.
- Mullish BH, Williams HR (2018). *Clostridium difficile* infection and antibiotic-associated diarrhoea. *Clin Med* (Lond) 18:237-241.
- O'Neill J (2014). Review on Antibiotic resistance. Antimicrobial Resistance: Tackling a crisis for the health and wealth of nations. Recuperado de: [https://amr-review.org/sites/default/files/AMR\\_Review\\_Paper-Tackling\\_a\\_crisis\\_for\\_the\\_health\\_and\\_wealth\\_of\\_nations\\_1.pdf](https://amr-review.org/sites/default/files/AMR_Review_Paper-Tackling_a_crisis_for_the_health_and_wealth_of_nations_1.pdf).
- Pan American Health Organization (2021). Antimicrobial Resistance, Fueled by the COVID-19 Pandemic. Recuperado de: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55864>.
- Stivers T (2021). Managing Patient Pressure to Prescribe Antibiotics in the Clinic. *Paediatr Drugs* 23:437-443.
- Teixeira Rodrigues A, Roque F, Falcão A *et al*. (2013). Understanding physician antibiotic prescribing behaviour: a systematic review of qualitative studies. *Int J Antimicrob Agents* 41:203-12.
- World Health Organization (2018). WHO Methodology for Point Prevalence Survey on Antibiotic Use in Hospitals. Recuperado de: [https://www.who.int/medicines/access/antimicrobial\\_resistance/WHO-EMP-IAU-2018\\_01/en/](https://www.who.int/medicines/access/antimicrobial_resistance/WHO-EMP-IAU-2018_01/en/).
- Zumaya-Estrada FA, Ponce-de-León-Garduño A, Ortiz-Brizuela E *et al*. (2021). Point Prevalence Survey of Antimicrobial Use in Four Tertiary Care Hospitals in Mexico. *Infect Drug Resist* 14:4553-4566.

**Federico Alonso Zumaya-Estrada**  
**Alejandro Alvarado-Delgado**  
**Celia Mercedes Alpuche-Aranda**  
**Centro de Investigación**  
**Sobre Enfermedades Infecciosas**  
**Instituto Nacional de Salud Pública (CISEI/INSP)**  
[federico.zumaya@insp.mx](mailto:federico.zumaya@insp.mx)



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2016.

## Libros



CUAUHTÉMOC NEGADO  
ANÁLISIS DE LA NEGACIÓN DE LOS RESTOS  
DE CUAUHTÉMOC:  
EPISTEMOLOGÍA Y MÉTODO  
**JORGE VERAZA**  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
México, 2023

En este libro Jorge Veraza revisa minuciosamente las tesis que la maestra Eulalia Guzmán y su equipo sostuvieron en torno a las investigaciones realizadas en la tumba de Ixcateopan, donde fueron hallados los restos de Cuauhtémoc, así como los argumentos de sus detractores, con la finalidad de colocarlos a la luz del análisis y la razón contemporáneas.

El paciente y minucioso análisis que lleva a cabo el autor no puede ser más preciso y convincente, de modo que este libro es también una forma de honrar la memoria de la maestra Guzmán, de Alfonso Quiroz Cuarón y del rigor científico con el que llevaron a cabo sus investigaciones, tan injusta y superficialmente descalificadas. Reivindicar su trabajo es la palabra justa, pues ella fue difamada, menospreciada y ofendida hasta lograr su desvanecimiento en la memoria académica.

Veraza ha puesto el dedo en la llaga de la credibilidad científica cuando afirma que el tema del entierro de Cuauhtémoc en Ixcateopan no se reduce a un asunto de “huesos”, sino del rigor científico con el que los restos y su entorno fueron examinados, y aún más, nos remite a la historia patria, la resistencia indígena y la identidad colectiva de los pueblos originarios.



GOLPE CIEGO  
ALTERNATIVAS DE LO POSTHUMANO  
**OSCAR DEL BARCO**  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
México, 2021

Marx, Heidegger, Nietzsche, Bataille, Wittgenstein, Artaud, son algunos de los autores que del Barco aborda con singular agudeza en los ensayos compilados en este libro.

En diálogo con las nuevas tendencias teóricas de la época (posestructuralismo, posmodernismo, feminismo, estudios culturales y postcoloniales) y a tono con un ciclo de luchas que adopta como protagonistas a los nuevos movimientos sociales, los diversos ensayos contemporáneos de deconstrucción del marxismo se mueven decididamente por fuera de ciertos núcleos ya insostenibles del léxico conceptual clásico del materialismo histórico: el privilegio de lo económico como matriz explicativa de toda la morfología capitalista, la teleología de la historia, el determinismo clasista, el vanguardismo político sustentado sobre el binomio Partido/Estado y el carácter totalizante de la teoría.

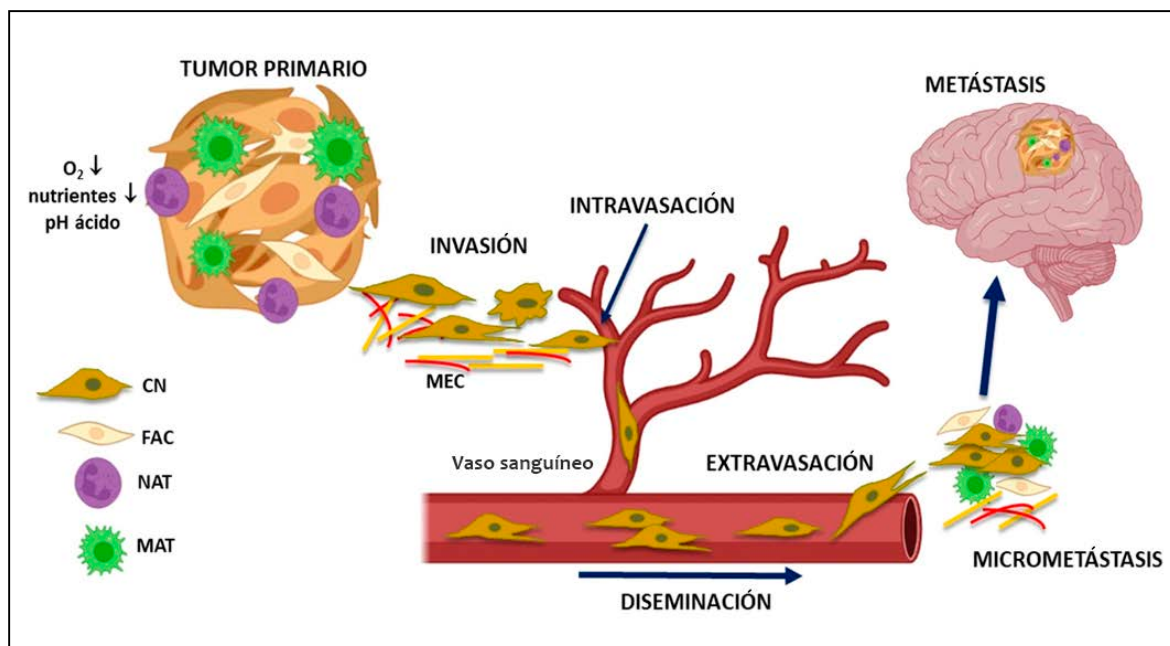
La diagnosis que Oscar del Barco ensaya desde la década de los ochenta encuadra el problema de la crisis del marxismo y de la política en el marco de una derrota de época de dimensiones planetarias. Sus sombrías radiografías del espíritu actual, de los tiempos, son placas negativas que en su sobreimpresión nos presentan diversas postales de la desolación, no la derrota de una generación, ni la de ciertos ideales o valores, sino la derrota como época: “Hemos entrado en una edad negra sin historia”.

# Las células metastásicas y su viaje a tierras lejanas

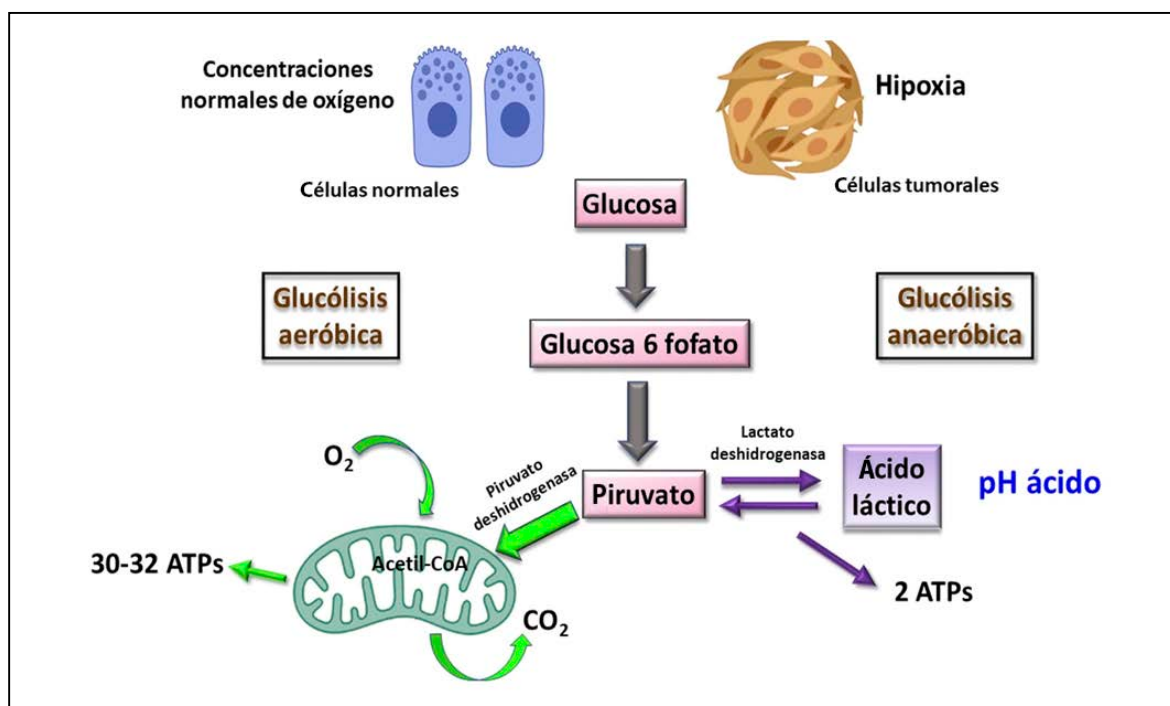
Georgina **González Ávila**  
Bettina **Sommer**

El cáncer sigue siendo un grave problema, como lo muestran los datos recabados por la Organización Mundial de la Salud que indican que su incidencia alcanzó los 19,292,789 nuevos casos y su mortalidad aumentó a 9,958,133 muertes a nivel mundial en 2020 (IARC, 2020). La gran mortalidad se debe a que alrededor del 90 % de las muertes son causadas por las metástasis que confieren un carácter sistémico a esta enfermedad, complicando su manejo. Por lo tanto, para el diseño de nuevas estrategias para su diagnóstico y tratamiento es importante conocer cuáles son los pasos que llevan a las células tumorales a formar lesiones metastásicas.

Las metástasis se forman por una serie de complejos procesos ligados uno con otro que permiten a las células cancerosas desprenderse del tumor primario y llegar a través de la circulación sanguínea a otros tejidos. En términos generales, la cascada metastásica consta de los siguientes pasos: transformación de las células cancerosas en potencialmente metastásicas dentro del tumor primario, invasión de los tejidos circundantes, entrada a los vasos sanguíneos o intravasación, desplazamiento por el torrente sanguíneo y linfático, extravasación, y formación de nuevas colonias metastásicas (Figura 1) (González-Ávila *et al.*, 2019).



**Figura 1.** Eventos en la formación de una metástasis. El microambiente tumoral tiene las condiciones necesarias para que la célula neoplásica (CN) se desprenda del tumor primario, invada la matriz extracelular (MEC), penetre en el sistema circulatorio y se desplace a través de este hasta llegar a un órgano específico donde iniciará una nueva colonia metastásica. En esta jornada la acompañan células como los fibroblastos asociados al cáncer (FAC), los neutrófilos asociados al tumor (NAT) y los macrófagos asociados al tumor (MAT).



**Figura 2.** Efecto Warburg. La disminución de las concentraciones de oxígeno en el tumor primario inhibe la conversión del piruvato a acetil-CoA en la mitocondria favoreciéndose su transformación en ácido láctico en el citoplasma, lo que acidifica el medio celular. Esto provoca un ajuste en el metabolismo de las células neoplásicas.

## MICROAMBIENTE TUMORAL

El tumor primario está constituido por células cancerosas en diferentes grados de evolución, células no neoplásicas, diversos componentes de la matriz extracelular (MEC) y moléculas como citoquinas, factores de crecimiento, quimiocinas y enzimas. En el tumor, la intensa proliferación de las células cancerosas provoca una disminución de los nutrientes y de la concentración de oxígeno (hipoxia). A su vez, la hipoxia genera cambios metabólicos como la reducción de la glucólisis aeróbica, lo que aumenta la anaeróbica (efecto Warburg), todo lo cual lleva a la sobreproducción de ácido láctico y a la acidificación del microambiente tumoral (Figura 2). Consecuentemente, las células neoplásicas tienen que desarrollar características que les permitan adaptarse a este nuevo entorno.

En este ambiente hipóxico y ácido, las células no tumorales sufren adaptaciones para su supervivencia, convirtiéndose en aliadas de las células cancerosas. Tal es el caso de los macrófagos asociados al tumor (MATs) tipo M2, los neutrófilos asociados al tumor (NATs) tipo N2, los fibroblastos asociados al cáncer (FACs), los mastocitos o células cebadas, y los adipocitos.

En el microambiente tumoral, las células neoplásicas adquieren la capacidad de poder separarse del tumor primario, cambiando las características epiteliales que las anclan al tejido por aquellas que eliminan la unión célula-célula y célula-MEC.

Esta transformación, que se conoce como transición epitelial-mesenquimatosa, les permite moverse e invadir los tejidos adyacentes. Así mismo, las células neoplásicas desarrollan la capacidad de evadir procesos de muerte celular programada, como son la apoptosis (que ocurre cuando la célula se encuentra dañada) y la anoikis (que surge al perderse las interacciones célula-MEC) (González-Avila *et al.*, 2019).

## ANGIOGÉNESIS Y LINFANGIOGÉNESIS

Las condiciones metabólicas del microambiente tumoral inducen la generación de vasos sanguíneos

a partir de un sistema vascular preexistente en un proceso conocido como angiogénesis (Lugano *et al.*, 2020).

Durante este proceso, las células neoplásicas y no cancerosas como los FACs y MATs, producen factores proangiogénicos que provocan la activación de células endoteliales tumorales (CETs), las cuales se originan de células endoteliales normales, células tumorales, células madre cancerosas y progenitoras de la médula ósea.

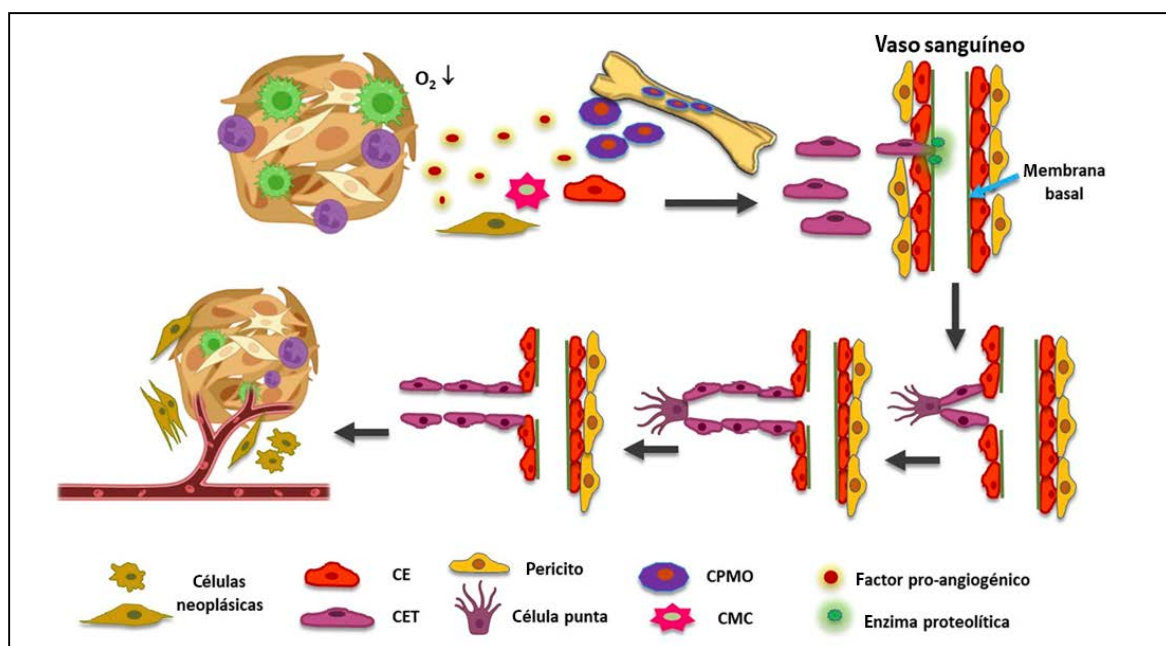
El tipo de angiogénesis que se observa más frecuentemente en el cáncer es por brote, en el que las CETs migran hacia los vasos sanguíneos más cercanos, desintegran las uniones entre las células endoteliales y, junto con otras células perivasculares, degradan la membrana basal de los vasos y la MEC circundante (Figura 3) (Lugano *et al.*, 2020).

Las CETs proliferan y forman una estructura tubular guiada por la célula punta hacia el tumor primario de donde provienen los factores proangiogénicos. La mayoría de los tumores son altamente vascularizados y los nuevos vasos que los irrigan son tortuosos con espacios entre las CETs y con carencia de la capa de pericitos, lo que provoca fugas de sangre y un flujo sanguíneo desorganizado que favorece la entrada de las células neoplásicas.

Por otro lado, la linfangiogénesis es el proceso que consiste en la estimulación de las células endoteliales linfáticas (CELs) de venas y vasos preexistentes por parte de las células tumorales y células no neoplásicas como los MATs, lo cual genera por brote nuevos vasos linfáticos (VLs) (Jiang, 2019). Los nuevos VLs son irregulares y con fugas, ya que además de presentar espacios entre las CELs, no existe una membrana basal continua ni una capa de pericitos ni de células musculares lisas.

## MIGRACIÓN E INVASIÓN

Una vez que las células cancerosas adquieren características mesenquimatosas (similares a los fibroblastos), se liberan del tumor primario moviéndose a través de la MEC.



**Figura 3.** Angiogénesis. La formación de nuevos vasos es inducida por factores proangiogénicos que estimulan la transformación de células progenitoras de la médula ósea (CPMO), células endoteliales (CEs), células neoplásicas y células madre de cáncer (CMC) en células endoteliales tumorales (CETs) que inician la formación de nuevos capilares.

Al moverse detectan los diferentes grados de rigidez y tensión de la MEC, así como los elementos que la forman por medio de proteínas de membrana como los sindecanos, integrinas y selectinas, que actúan como mecanorreceptores. Estos receptores conectan con filamentos de actina del citoesqueleto, lo que transforma las interacciones mecánicas en señales bioquímicas que inducen la migración celular (Jiang, 2022).

Dependiendo de estas señales, las células neoplásicas modifican su citoesqueleto para interactuar con los componentes de la MEC y moverse a través de ellos (Figura 4) (Wu *et al.*, 2021).

Las células cancerosas pueden moverse solas o en conjunto. Cuando migran individualmente, las células pierden las uniones intercelulares adquiriendo la forma ameboide o mesenquimatosa.

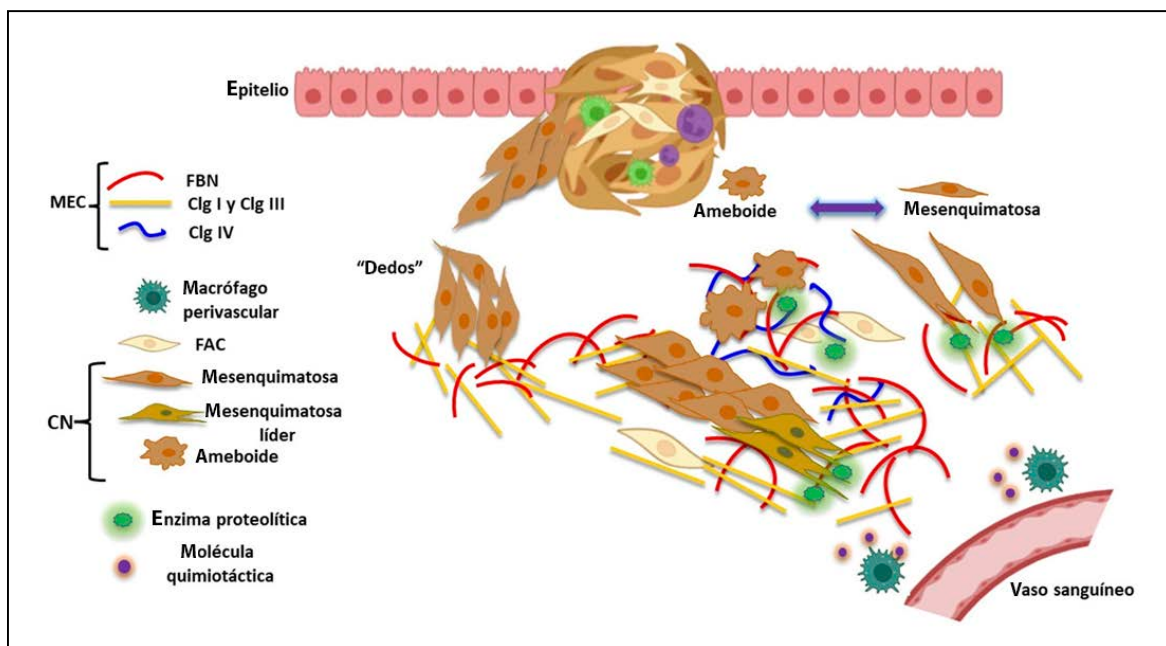
La apariencia ameboide se obtiene cuando la MEC no es tan rígida, permitiendo a las células deslizarse a través de pequeños huecos o “caminos” hechos por los FACs. Este desplazamiento se desarrolla por medio de la formación de protuberancias

de la membrana celular similares a “ampollas” y por los filopodios. Por el contrario, las células adquieren una forma mesenquimatosa al interactuar por medio de integrinas presentes en los lamelipodios e invadopodios, con una MEC más rígida. Ambas formas son intercambiables entre sí y secretan enzimas proteolíticas según la composición de la MEC que atraviesan (Gonzalez-Avila *et al.*, 2019).

Las células tumorales pueden migrar en grupos al mantenerse las uniones entre las células. Inicialmente, pueden separarse del tumor primario formando brotes parecidos a “dedos”, lo cual es signo de mal pronóstico. Una vez en el tejido circundante, pueden avanzar formando filas o racimos. La dirección de migración es determinada por células líderes que interaccionan con la MEC.

#### DISPERSIÓN DE LAS CÉLULAS NEOPLÁSICAS A ÓRGANOS DISTANTES

Las células tumorales son atraídas hacia los vasos sanguíneos y linfáticos por factores quimiotácticos producidos por los macrófagos perivasculares. La penetración de las células cancerosas al interior de



**Figura 4.** Migración hacia el sistema circulatorio. Las células neoplásicas (CNs), al desprenderse del tumor primario, se mueven a través de la matriz extracelular (MEC) hacia la circulación atraídas por moléculas secretadas por los macrófagos. Pueden migrar solas, en forma ameboide, cuando la MEC contiene entre sus elementos colágena tipo IV (Clg IV) o adquirir la forma mesenquimatosas cuando la MEC la constituyen fibronectina (FBN) y colágenos tipo I (Clg I) y III (Clg III). También pueden desplazarse unidas a otras células acompañadas por fibroblastos asociados a cáncer (FAC). CNs y FACs utilizan enzimas proteolíticas para modificar la MEC por la que pasan.

los vasos, o intravasación, depende de otras células como los adipocitos, FACs, neutrófilos y pericitos, así como de la rigidez del tejido y la presión del líquido intersticial (Sznurkowska *et al.*, 2022).

Por su parte, las células neoplásicas tienen la capacidad de degradar la membrana basal e inducir la retracción dependiente de actina de las células endoteliales o promover su apoptosis, lo que aumenta la permeabilidad de los vasos.

En la circulación, las células cancerosas pueden viajar solas o en grupo con otras células tumorales y células no neoplásicas como los FACs, plaquetas, MATs y células endoteliales para evadir la vigilancia inmunológica y resistir la presión del torrente linfático o sanguíneo (Sznurkowska, *et al.*, 2022).

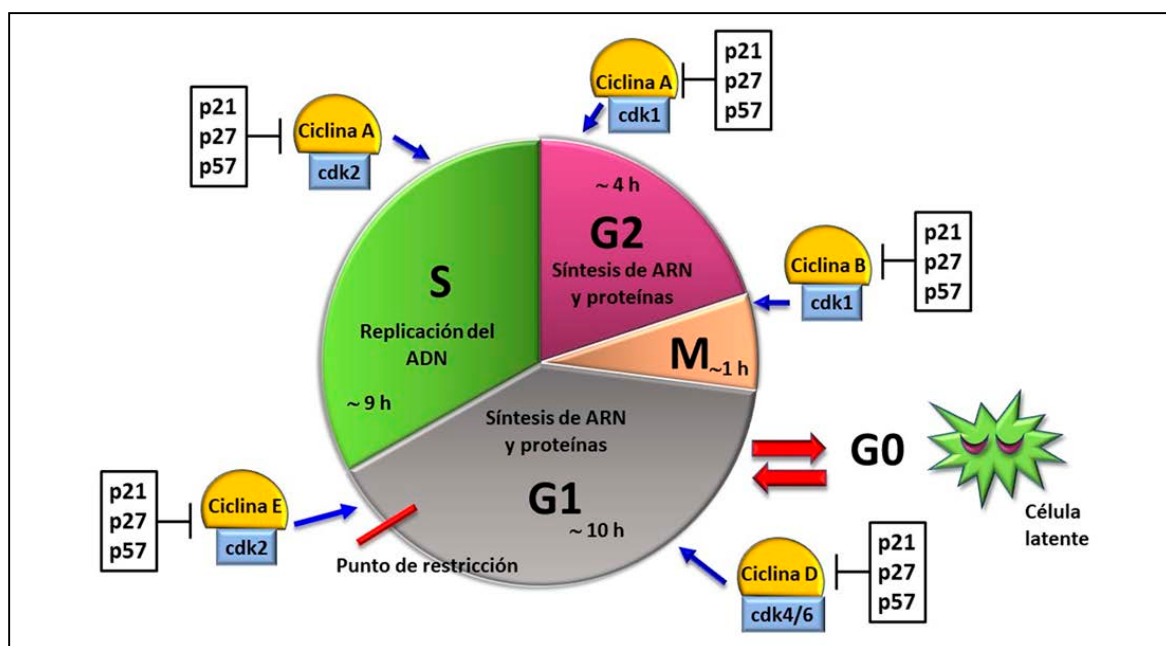
Cuando las CTCs llegan a una red capilar, pueden ser retenidas, iniciándose el proceso de extravasación, ya sea de forma pasiva, que depende del tamaño del grupo celular atrapado en la red capilar, o por la unión específica de las células tumorales con las endoteliales a través de selectinas y de isoformas de CD44, y por la interacción con la MEC por medio de las integrinas.

Así mismo, existe un aumento de la permeabilidad vascular originada por la unión directa de la célula cancerosa con la endotelial promoviendo su muerte, y por la secreción de factores provenientes del microambiente tumoral primario que actúan a distancia en las células endoteliales o en células residentes del órgano a invadir (Tomita *et al.*, 2021).

Las células tumorales se mueven a través de los sitios donde existe un aumento de la permeabilidad vascular mediante los invadopodios, migrando hasta la MEC perivascular.

En la formación de los invadopodios están involucradas las plaquetas, las cuales también inducen a las células endoteliales a secretar enzimas que degradan la membrana basal facilitando el movimiento de las células tumorales.

Una vez que las células tumorales diseminadas (CTDs) se extravasan, vuelven a pasar por una transformación, esta vez, de células mesenquimatosas a epiteliales para iniciar una colonia metastásica.



**Figura 5.** El ciclo celular. Cada fase del ciclo celular está regulada por un complejo de ciclinas/cinasas dependientes de ciclina (cdk). Estos complejos pueden inhibirse por moléculas como p21, p27 y p57 en el nicho premetastático, lo que hace que las células neoplásicas entren en un estado de latencia (G0) que puede durar años. G0, gap 0; G1, gap 1; G1, gap 2; M, mitosis; S, síntesis.

## EL NICHO PREMETASTÁSICO

Las CTDs no se extravasan en cualquier sitio, sino que lo hacen en aquellos donde existen las condiciones para proliferar predeterminadas por el microambiente tumoral; es decir, que existe una comunicación entre las células del tumor primario y los órganos que irán a colonizar.

En los sitios de extravasación existe un microambiente específico diseñado desde el tumor primario por moléculas que actúan en las células residentes del órgano “receptor”, células derivadas de la médula ósea y del sistema inmune (Wang *et al.*, 2021).

Estas moléculas son secretadas como factores solubles o son transportadas en vesículas extracelulares (VEs), como los exosomas. Al llegar al sitio de metástasis, las VEs vacían su carga de tal manera que los componentes celulares preparen un ambiente conocido como nicho premetastático, donde las CTDs puedan sobrevivir (Wang *et al.*, 2021).

Entre los cambios que ocurren se encuentran la remodelación de la MEC, el reclutamiento de células como los MATs y NATs, la reprogramación del metabolismo local, la inmunosupresión, la inflamación y el organotropismo para atraer a las células cancerosas a este sitio.

Cuando las CTDs llegan al nicho premetastático pueden sufrir apoptosis, ser destruidas por el sistema inmune local, proliferar o entrar a un estado de latencia, lo cual dependerá del grado de adaptación de las CTDs, de las modificaciones del nicho y de la participación de las células locales (Blasco *et al.*, 2022).

Para que las CTDs entren a un estado de latencia, en lugar de que las células neoplásicas continúen su paso por todas las fases del ciclo celular (lo que permite su proliferación), se activan vías de señalización que inducen la expresión de represores del ciclo celular como p21, p27 y p57, lo que provoca que las células pasen después de la fase de mitosis (M) a un estado de latencia o arresto celular conocido como G0 (gap 0), donde las células no se dividen (Figura 5). Durante el estado de latencia, las células tumorales adquieren resistencia al tratamiento y,

además, escapan de la respuesta inmune. El estado de latencia puede durar meses, años o décadas hasta que eventos como la remodelación de la MEC producida por neutrófilos infiltrantes induzcan la reactivación de la proliferación celular al pasar de la fase G0 a G1 (gap 1).

Otro mecanismo por el cual las nuevas colonias permanecen latentes, consiste en mantener el tamaño de la nueva lesión metastásica mediante un equilibrio entre la proliferación y la apoptosis celular, proceso regulado por factores pro y anti angiogénicos derivados de células del estroma y tumorales (Gonzalez-Avila *et al.*, 2019). En este caso, las células neoplásicas “despiertan” al activarse los mecanismos de angiogénesis aumentando la masa tumoral.

Se ha propuesto que existe una selección de clones celulares, de tal manera que, al acabarse el período de latencia, estas son capaces de adaptarse al microambiente del nuevo órgano y desarrollar la capacidad de formar nuevas metástasis en otros tejidos; su particularidad es que son resistentes a las terapias empleadas anteriormente contra las células del tumor primario (Blasco MT, 2022).

Es por ello que las metástasis primarias y las metástasis de las metástasis son difíciles de tratar, lo que da como resultado la transformación de una enfermedad local en una sistémica que causa la muerte del paciente; de ahí la importancia de su detección temprana.

## CONCLUSIÓN

Conocer los pasos que llevan a la generación de una metástasis llevará a diseñar estrategias más eficientes para su diagnóstico temprano y tratamiento, tomando en consideración que su origen comienza en etapas tempranas y que las CTDs tienen características moleculares diferentes a las de las células neoplásicas del tumor primario, las cuales obtienen por mutaciones y cambios epigenéticos durante el proceso metastásico, lo que hace que respondan distinto al tratamiento.

Al respecto, son muchas las vías de señalización y metabólicas involucradas en la progresión del

cáncer y muchas las moléculas que intervienen que no se han mencionado aquí y que pueden ser blancos terapéuticos de nuevos enfoques, siempre tomando en consideración el cuidado de la calidad de vida del paciente.

## REFERENCIAS

- Blasco MT, Espuny I and Gomis RR (2022). Ecology and evolution of dormant metastasis. *Trends Cancer* 8(7):570-582. DOI: [10.1016/j.trecan.2022.03.002](https://doi.org/10.1016/j.trecan.2022.03.002).
- Gonzalez-Avila G, Sommer B, Mendoza-Posada DA, Ramos C, *et al.* (2019). Matrix metalloproteinases participation in the metastatic process and their diagnostic and therapeutic applications in cancer. *Crit Rev Oncol Hematol* 137:57-83. DOI: [10.1016/j.critrevonc.2019.02.010](https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2019.02.010).
- International Agency for Research on Cancer (IARC). GLOBOCAN 2020. Cancer Today: Estimated number of new cases in 2020, world-wide, both sexes, all ages. IARC Cancer Base, Lyon France. Recuperado de <http://gco.iarc.fr>.
- Jiang X (2019). Lymphatic vasculature in tumor metastasis and immunobiology. *J Zhejiang Univ Sci B* 21(1):3-11. DOI: [10.1631/jzus.B1800633](https://doi.org/10.1631/jzus.B1800633).
- Jiang Y, Zhang H, Wang J *et al.* (2022). Targeting extracellular matrix stiffness and mechanotransducers to improve cancer therapy. *J Hematol Oncol* 15,34. DOI: [10.1186/s13045-022-01252-0](https://doi.org/10.1186/s13045-022-01252-0).
- Lugano R, Ramachandran M and Dimberg A (2020). Tumor angiogenesis: causes, consequences, challenges and opportunities. *Cell Mol Life Sci* 77(9):1745-1770. DOI: [10.1007/s00018-019-03351-7](https://doi.org/10.1007/s00018-019-03351-7).
- Sznurkowska MK and Aceto N (2022). The gate to metastasis: key players in cancer cell intravasation. *FEBS J* 289(15):4336-4354. DOI: [10.1111/febs.16046](https://doi.org/10.1111/febs.16046).
- Tomita T, Kato M and Hiratsuka S (2021). Regulation of vascular permeability in cancer metastasis. *Cancer Sci* 112(8):2966-2974. DOI: [10.1111/cas.14942](https://doi.org/10.1111/cas.14942).
- Wang H, Pan J and Barsky L *et al.* (2021). Characteristics of pre-metastatic niche: the landscape of molecular and cellular pathways. *Mol Biomed* 2(1):3. DOI: [10.1186/s43556-020-00022-z](https://doi.org/10.1186/s43556-020-00022-z).
- Wu JS, Jiang J, Chen BJ, *et al.* (2021). Plasticity of cancer cell invasion: patterns and mechanisms. *Transl Oncol* 14(1):100899. DOI: [10.1016/j.tranon.2020.100899](https://doi.org/10.1016/j.tranon.2020.100899).

**Georgina González Ávila**  
**Bettina Sommer**  
**Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias**  
**México**  
[ggonzalezavila@yahoo.com](mailto:ggonzalezavila@yahoo.com)



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2006.

# El estrés: un balance entre la supervivencia y el deterioro en la salud

Ana Lilia **Cerda-Molina**  
Lilian **Mayagoitia-Novales**  
Javier I. **Borráz-León**

La supervivencia en un ambiente en constante cambio es una prioridad fundamental de los seres vivos y para lograrlo es preciso responder y adaptarse a las diversas situaciones estresantes que desafían la fisiología y metabolismo. El estrés es uno de los mecanismos biológicos a través del cual los organismos se ajustan a cambios en su entorno que los hace más aptos para su existencia, pero que, sin un control, puede tener efectos deletéreos. Si comprendemos la dinámica de regulación del estrés y sus afectaciones, podremos prevenir diversos problemas de salud física, metabólica y mental.

La evolución de los procesos fisiológicos y metabólicos se lleva a cabo en intervalos de tiempo mucho más grandes que los cambios conductuales y culturales de la especie humana. Así, en menos de 200 años hemos modificado notoriamente nuestro estilo de vida: con el sedentarismo, ingerimos más energía de la que metabólicamente usamos, y la rápida sobrepoblación nos ha llevado a experimentar “nuevos” estresores, por ejemplo, el tráfico, las largas jornadas laborales, las presiones familiares y sociales, la exposición a la violencia, etc., que, en conjunto, desafían diariamente a nuestro organismo

imponiendo desequilibrios psicológicos y metabólicos con los que en ocasiones nuestro cuerpo no puede contender.

El estrés es un mecanismo de respuesta ante situaciones adversas o amenazantes que, por su relevancia para la sobrevivencia, se ha conservado evolutivamente en el reino animal y se ha perfeccionado al involucrar diversas funciones adaptativas que sirven para ajustarse a los cambios en el entorno. El estrés activa su propio mecanismo de autorregulación; no obstante, los seres humanos hemos alcanzado rápidamente cierta vulnerabilidad para desequilibrar su funcionamiento. En este artículo presentamos un breve resumen sobre la regulación del estrés como mecanismo adaptativo de sobrevivencia y exponemos cómo el desequilibrio en alguno de sus múltiples componentes puede afectar seriamente la salud.

#### **NO TODO EL ESTRÉS ES MALO**

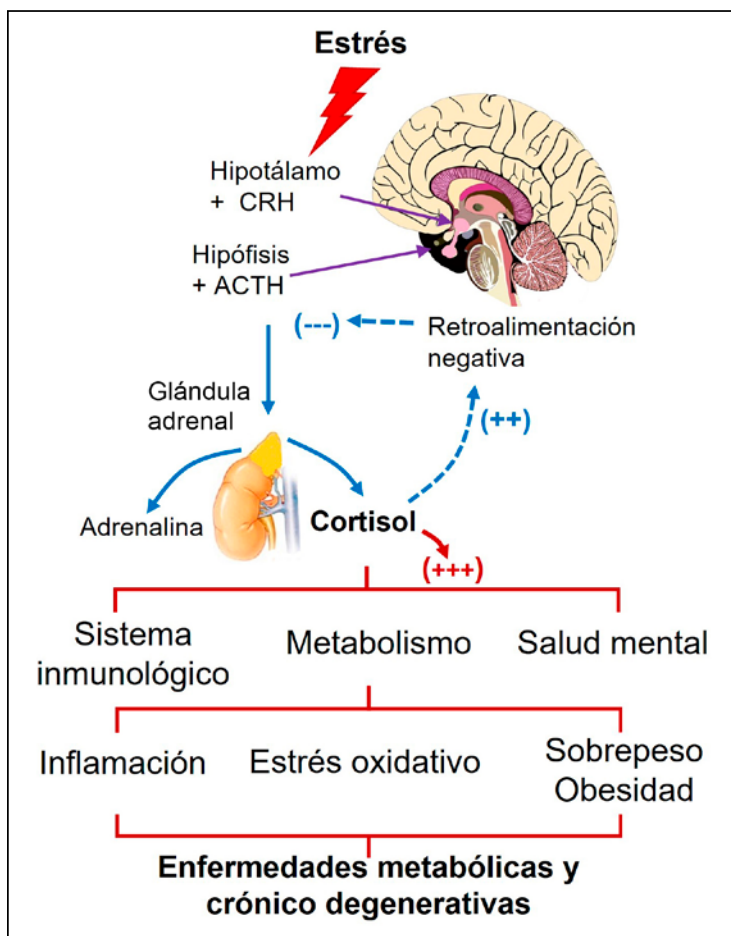
Un estresor es un estímulo o vivencia percibido como una amenaza potencial que induce una reacción fisiológica y conductual que permite actuar rápidamente para enfrentar la situación. En el caso de los seres humanos, los estresores pueden ser reales o evocados; con reales nos referimos a las experiencias que nos afectan directamente, como el sufrir una pérdida, un accidente, una enfermedad, un asalto, etcétera. Con evocados nos referimos al acto de pensar en una situación que no ha ocurrido, pero que podría ocurrir y ante la cual nos anticipamos a imaginar las consecuencias negativas que podría conllevar; por ejemplo, pensar que por el tráfico no llegaremos a tiempo al trabajo, imaginar que reprobaremos un examen, pensar en el trabajo acumulado, todo ello es suficiente para activar una respuesta de estrés y, por lo tanto, sufrir sus consecuencias en la salud.

Entonces, cuando nos enfrentamos ante un estresor, ya sea real o evocado, se activan temporalmente dos ejes de respuesta: en primer lugar, el eje simpático-adreno-medular, cuyo producto final

de secreción son las catecolaminas (por ejemplo, la adrenalina), que contribuyen a acelerar la circulación sanguínea, el ritmo cardíaco, la frecuencia respiratoria y la respuesta galvánica de la piel, provocando sudoración; esto lo sentimos claramente cuando una situación nos tensa o genera miedo. En segundo lugar, se activa el eje hipotalámico-hipofisario-adrenal (HHA), con lo que inicia una cascada de eventos neuroendocrinos cuyo producto final es la secreción adrenal de glucocorticoides (GCs), principalmente cortisol en humanos, y de los mineralocorticoides (MCs), los cuales, para ejercer su acción, se unen a sus receptores celulares y estimulan o inhiben la expresión de ciertos genes. Esta activación también involucra al sistema límbico (principal regulador de las emociones), lo cual nos produce un estado de alerta y una sensación momentánea de miedo que nos ayuda a escapar o hacer frente a la amenaza (Juster *et al.*, 2016). Los GCs se liberan para movilizar la energía metabólica que el organismo requiere para afrontar el estresor, por ejemplo, la disponibilidad de glucosa, el incremento en la actividad muscular, la secreción de ácidos gástricos y la activación de ciertos componentes del sistema inmune. Existe un umbral normal de respuesta que permite la correcta toma de decisiones, así como un proceso de memoria que permitirá que en un futuro nuestra respuesta a eventos similares sea más atenuada (Cerdeña-Molina *et al.*, 2020a). Además, los GCs en concentraciones fisiológicas normales producen potentes efectos antiinflamatorios y participan en procesos biológicos como la proliferación, diferenciación y apoptosis de muchos tipos de células, incluidos células óseas, de cartílago y adipocitos. Sin embargo, elevaciones prolongadas o en concentraciones suprafisiológicas, producen el efecto contrario al activar procesos inflamatorios severos que detonan enfermedades como artritis, alergias, asma, osteoporosis, entre otras.

#### **¿CÓMO AFECTA EL ESTRÉS CRÓNICO A LA SALUD MENTAL?**

Una vez que pasó el evento que activó el eje HHA, los propios GCs y MCs ejercen un mecanismo adaptativo de retroalimentación negativa que disminuye



**Figura 1.** Se representa en flechas azules la ruta normal de regulación del estrés, y con la flecha roja, las consecuencias para la salud física, mental y metabólica del aumento prolongado de cortisol. CRH: Hormona liberadora de la corticotropina; ACTH: Hormona adrenocorticotrópica.

asociados a la retroalimentación negativa. Una de las principales alteraciones es la hiperactivación del eje HHA, es decir, la secreción de elevadas concentraciones de GCs debido al deterioro en la expresión de los receptores cerebrales necesarios para disminuir la respuesta. Esto es muy común en personas expuestas a ambientes de muerte y destrucción, como los veteranos de guerra, o en personas que sufrieron maltrato y violencia, especialmente en edades tempranas. La consecuencia es el desarrollo de padecimientos de salud mental como la ansiedad, la depresión, el trastorno de estrés posttraumático y, en casos muy severos, comportamientos suicidas. Mantener niveles

la respuesta neuroendocrina y restablece el estado basal del organismo (Figura 1). Este mecanismo de autorregulación ocurre por la activación de receptores en estructuras cerebrales como el hipocampo (asociado a procesos de memoria y cognición), la amígdala (responsable del procesamiento del miedo y las emociones) y la corteza prefrontal (que regula procesos cognitivos y estrategias de afrontamiento) que, a su vez, estimulan neurotransmisores de naturaleza inhibitoria como el ácido  $\gamma$ -aminobutírico, mejor conocido como GABA. Este sistema de autorregulación es muy sensible y se va moldeando a lo largo de la vida de las personas a través de las experiencias y la educación. De esta manera, el cerebro se adapta progresivamente, disminuyendo o aumentando la capacidad del organismo para afrontar los estresores. Si ante estresores prolongados no ocurre una correcta adaptación, se puede generar una condición de activación alterada del eje HHA y de los sistemas de neurotransmisión

elevados de GCs en el cerebro provoca el deterioro de procesos cognitivos como el aprendizaje y la memoria; por ello, es muy importante regresar al equilibrio y adaptarse una vez que el evento estresante ha pasado (Herman *et al.*, 2016).

#### EL ESTRÉS PUEDE ALTERAR NUESTRO DESPERTAR

En condiciones normales, los GCs se secretan siguiendo un ritmo circadiano con oscilaciones a lo largo del día y la noche, de manera que aumentan sus niveles dentro de los primeros 30 a 45 minutos después de despertar por la mañana, contribuyendo a cubrir la demanda metabólica y energética para iniciar las funciones del día (a través de la movilización de glucosa). Los GCs disminuyen progresivamente durante el día hasta un mínimo por las noches antes de dormir, cuando la demanda

energética es mínima, para nuevamente incrementarse conforme amanece. En esta regulación participa el eje HHA, pero no comandado por estrés, sino por un sistema de relojes biológicos celulares, a su vez dirigidos por el núcleo supraquiasmático del hipotálamo, encargado de las funciones circadianas y diurnas como el ciclo del sueño-vigilia. Este ritmo circadiano de GCs es estable entre sexos y constante en el tiempo; sin embargo, es también susceptible de alterarse ante situaciones de estrés crónico y enfermedad. Por ejemplo, en la literatura se ha reportado que personas que padecen depresión, estrés postraumático, o enfermedades que conllevan dolor crónico (como la fibromialgia, la artritis reumatoide y la endometriosis), presentan niveles de GCs matutinos muy elevados con respecto a personas sanas, lo que refleja el esfuerzo del organismo para contender con el malestar. Investigaciones recientes también han reportado que este ritmo circadiano puede afectarse temporalmente en estudiantes durante periodos de estrés por exámenes o en trabajadores con jornadas nocturnas. En el largo plazo, la alteración en el ciclo de secreción de los GCs puede disminuir la calidad del sueño y la calidad de vida (Oster *et al.*, 2017).

#### **EL ESTRÉS TAMBIÉN ALTERA NUESTROS HÁBITOS ALIMENTICIOS Y METABOLISMO**

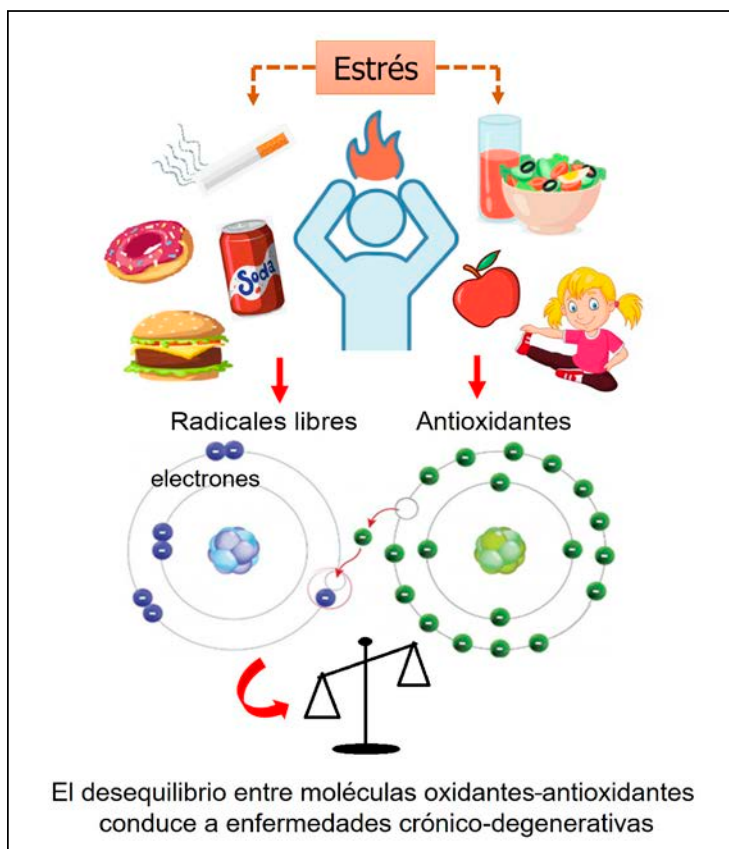
La regulación que los GCs ejercen durante la respuesta a un estresor y para cubrir la demanda energética matutina, ocurre a través de procesos metabólicos como la síntesis de glucosa (gluconeogénesis). Este aumento de glucosa se acompaña de la secreción de insulina, una hormona pancreática indispensable para que la glucosa ingrese a las células, por lo que repetidas situaciones estresantes ponen en riesgo a las personas de padecer resistencia a la insulina y diabetes tipo 2. Además, los GCs promueven el metabolismo de las grasas de una forma adaptativa, es decir, en el corto plazo, promoviendo su oxidación, liberación y transformación en energía biológica (lipólisis), pero, ante estresores

prolongados, se promueve su acumulación, por lo que el estrés es también un predictor de problemas de obesidad, hipertensión y salud cardiometabólica.

Entonces, en personas que viven en constante situación de tensión y estrés, el sistema nervioso central inicia una respuesta de sensibilización, es decir, se predispone a responder más rápido y exacerbadamente a estresores subsecuentes. En consecuencia, aumenta la susceptibilidad para experimentar sentimientos de ansiedad, que en algunas personas se subsanan con malos hábitos como el tabaquismo, el alcoholismo o la ingestión de alimentos chatarra. Parecido a las drogas de abuso, los alimentos hipercalóricos activan un mecanismo de aprendizaje/condicionamiento a nivel cerebral que incrementa el deseo por su consumo, ya que temporalmente inducen un estado de bienestar, pero con la consecuencia de aumentar el almacén de calorías en forma de grasa. Por ello, las personas que recurren a estos alimentos como estrategia de afrontamiento están en riesgo de desarrollar enfermedades de salud mental, física, metabólica y de tipo inflamatorio (Cerdeña-Molina *et al.*, 2020b).

#### **¿CÓMO PASAMOS DE LA ALIMENTACIÓN A LA INFLAMACIÓN?**

Tanto los GCs como las células adiposas estimulan algunas células del sistema inmune para secretar compuestos con efectos inflamatorios como las interleucinas 1 y 6 (IL-1 e IL-6), que se liberan cuando hay que reparar tejidos lesionados; pero su presencia sin que haya una señal de reparación puede ser nociva. Estudios recientes han encontrado que el aumento en la IL-6 altera el equilibrio de la ruta metabólica del aminoácido triptófano para producir serotonina (neurotransmisor que regula los estados de ánimo). Esta alteración provoca la producción de un compuesto llamado quinurenina y en menor grado de serotonina, proceso que fomenta la aparición de estados de ánimo depresivos (Harkin, 2014). La vía enzimática y metabólica de la quinurenina genera otros compuestos de tipo inflamatorio y con propiedades nocivas como el ácido quinólico, que en conjunto producen radicales libres (ver siguiente



**Figura 2.** Ante el estrés podemos adoptar hábitos saludables que conducen a un equilibrio entre el estado oxidante-antioxidante o malos hábitos que llevan a su desequilibrio.

de eliminarlas, es decir, antioxidantes. Los prooxidantes, también conocidos como radicales libres, son moléculas muy reactivas e inestables debido a que perdieron uno o varios electrones; aunque en niveles normales participan en procesos de defensa inmune y reparación de daños tisulares, en exceso producen el efecto contrario. Los compuestos antioxidantes interactúan con los radicales libres y los neutralizan para evitar su sobreproducción y así mantener un balance. Antes de ser eliminados, los radicales libres pueden interactuar con las grasas saturadas provocando su degradación, y con ello, la síntesis de productos citotóxicos. Uno de estos productos es el

sección) y enfermedades neurodegenerativas. Es necesario mantener el equilibrio en la ruta de producción de estos compuestos, de otra forma la balanza se inclinará hacia la actividad enzimática que favorece la inflamación, lo que a su vez conducirá a una respuesta inmunitaria ineficiente contra los patógenos y a un incremento en el daño oxidativo.

#### **¿VIVIR ESTRESADO PUEDE ACELERAR EL ENVEJECIMIENTO Y LOS PROBLEMAS NEURODEGENERATIVOS?**

En efecto, vivir bajo estrés crónico nos predispone a desarrollar malos hábitos que conducen al sobrepeso, la obesidad y otros trastornos metabólicos que aumentan la ansiedad y la depresión. Además, las afectaciones se pueden extender a nivel celular y subcelular ya que aumenta el proceso de estrés oxidativo, lo que acelera el desarrollo de enfermedades degenerativas. El estrés oxidativo se refiere a la exposición del organismo a factores que producen una ruptura del equilibrio natural entre las moléculas que inducen oxidación (prooxidantes) y las encargadas

malondialdehído, que en exceso puede modificar la conformación química de proteínas y lípidos para formar macromoléculas nocivas que generan una reacción inflamatoria y, en ocasiones graves, una respuesta autoinmune. Por ello, el desequilibrio oxidante-antioxidante provoca daños a nivel genético, celular y tisular, lo que conduce al desarrollo de diversas patologías crónico-degenerativas, entre ellas la enfermedad de Parkinson, la de Alzheimer, la aterosclerosis, algunos tipos de cáncer, etcétera (González-Fraguela, 2019; Figura 2).

#### **CONCLUSIÓN: LA BÚSQUEDA DEL EQUILIBRIO RESILIENCIA-VULNERABILIDAD**

Es importante resaltar que no todas las personas se ven afectadas por el estrés de la misma forma, ya que hay quien, en vez de percibir los estresores como una amenaza, los perciben como retos a los que hay que responder y adaptarse rápidamente.



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2007.

A este proceso se le conoce como resiliencia y tiene que ver con una mejor capacidad de respuesta del sistema de retroalimentación negativa del eje HHA y con la capacidad de afrontamiento asertivo. Por el contrario, las personas susceptibles o vulnerables que perciben muy amenazadoras las vivencias estresantes, generalmente se adaptan mal y tienden a responder de manera exacerbada (Jones *et al.*, 2022).

Si bien la capacidad de resiliencia depende de factores hereditarios y de personalidad, la podemos desarrollar con la iniciativa de buscar apoyo social, o a través de prácticas como una buena alimentación, el ejercicio y la meditación, que contribuyen a mitigar el impacto emocional del estrés y sus múltiples efectos nocivos en la salud; estas estrategias pueden ser especialmente útiles para

aquellas personas con enfermedades crónicas, ya que al experimentar un proceso de defensa y protección constante, están predispuestas a percibir aún más el estrés y el dolor.

## REFERENCIAS

Cerda-Molina AL, Martínez-Mota L, Borráz-León JI y Páez-Martínez N (2020a). Exposición a la violencia y sus implicaciones en la regulación neuroendocrina del eje del estrés. En Fuentes de Iturbe P y Ramos-Lira L (Eds.), *Violencia y Salud Mental: Perspectivas desde la Neurociencia, la Clínica y la Salud Pública* (pp. 33-50). Grañén-Porrúa, México.

Cerda-Molina AL, Borráz-León JI y Mayagoitia-Novales L (2020b). Relación entre abuso infantil, estrés crónico, sobrepeso y obesidad. En Fuentes de Iturbe P y Ramos-Lira L (Eds.), *Violencia y Salud Mental: Perspectivas desde la Neurociencia, la Clínica y la Salud Pública* (pp. 95-110). Grañén-Porrúa, México.

González-Fraguela, ME (2019). La contribución del estrés oxidativo en los procesos de aprendizaje y memoria. *Panorama Cuba y Salud* 14: 82-90.

Harkin A (2014). Muscling in on depression. *New England Journal of Medicine* 371:2333-2334.

Herman JP, McKlveen JM, Ghosal S, Kopp B, Wulsin A, *et al.* (2016). Regulation of the hypothalamic-pituitary-adrenocortical stress response. *Comparative Physiology* 6:603-621.

Jones KL, Zhou M and Jhaveri DJ (2022). Dissecting the role of adult hippocampal neurogenesis towards resilience versus susceptibility to stress-related mood disorders. *NPJ Science of Learning* 7:1-8.

Juster RP, Russell JJ, Almeida D and Picard M (2016). Allostatic load and comorbidities: a mitochondrial, epigenetic, and evolutionary perspective. *Development and Psychopathology* 28:1117-1146.

Oster H, Challet E, Ott V, Arvat E, de Kloet ER, *et al.* (2017). The functional and clinical significance of the 24-hour rhythm of circulating glucocorticoids. *Endocrine Reviews* 38: 3-45.

**Ana Lilia Cerda Molina**  
Departamento de Etología  
Instituto Nacional de Psiquiatría  
Ramón de la Fuente Muñiz  
[ana.inprfm@gmail.com](mailto:ana.inprfm@gmail.com)

**Lilian Mayagoitia Novales**  
Departamento de Etología  
Instituto Nacional de Psiquiatría  
Ramón de la Fuente Muñiz

**Javier I. Borráz León**  
Departamento de Etología  
Instituto Nacional de Psiquiatría  
Ramón de la Fuente Muñiz  
Institute for Mind and Biology  
The University of Chicago, Chicago IL USA

# Los polvos y partículas del aire que respiramos

Julia G. **Cerón Bretón**  
Rosa M. **Cerón Bretón**  
Reyna C. **Lara Severino**

El crecimiento urbano y el desarrollo industrial en las grandes ciudades del mundo han dado como resultado mayores emisiones de contaminantes del aire, siendo este problema derivado de una mayor demanda de servicios, del incremento poblacional y de un mayor número de vehículos circulando. Esto ha provocado que la calidad del aire que respiramos se degrade cada vez más, convirtiéndose en un factor de riesgo para la salud de la población que habita estas ciudades (Aránguez *et al.*, 1999). Los contaminantes del aire pueden encontrarse en forma de gas o en forma de minúsculas partículas suspendidas que no son visibles al ojo humano, y que son emitidas por numerosas y diversas fuentes tales como los tubos de escape de los vehículos, los equipos de combustión y las chimeneas de las industrias. Estas partículas también pueden ser polvos resuspendidos de las carreteras y caminos, emisiones de la minería y de actividades siderúrgicas y metalúrgicas, entre otras. En este trabajo vamos a enfocarnos en el origen y contenido de estas partículas, así como en los riesgos que representan para la salud.

## **¿QUÉ SON LAS PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS Y QUE TAMAÑOS TIENEN?**

Las partículas atmosféricas o material particulado denominado como PM (por sus siglas en inglés: *particulate*

*matter*), son sólidos o gotas de líquido suspendidos en el aire con diámetros comprendidos entre 0.002 y 100  $\mu\text{m}$  (micrómetros) ( $1\ \mu\text{m} = 0.001\ \text{mm}$  o  $1 \times 10^{-6}\ \text{m}$ ) (Aragón-Piña, 2011). Su tamaño se define en función de su diámetro equivalente, ya que la mayoría de las partículas presentan formas irregulares, caracterizándose comúnmente en función de su diámetro aerodinámico (el cual se define como el diámetro de una esfera de densidad de  $1\ \text{g/cm}^3$  que sedimenta con la misma velocidad final debido a la fuerza de la gravedad considerando aire en calma, medido usualmente en  $\mu\text{m}$ ). Estas partículas son clasificadas en  $\text{PM}_{2.5}$  y en  $\text{PM}_{10}$  si su tamaño es menor o igual a  $10\ \mu\text{m}$ , o menor o igual a  $2.5\ \mu\text{m}$ , respectivamente, siendo de particular interés porque tienen un tamaño tal que pueden ser inhaladas al momento de respirar, por lo que pueden llegar directamente a los pulmones y servir de vehículo a virus, bacterias, hongos, esporas y a una gran cantidad de sustancias químicas, algunas de las cuales pueden ser tóxicas.

### ¿CÓMO SE ORIGINAN ESTAS PARTÍCULAS?

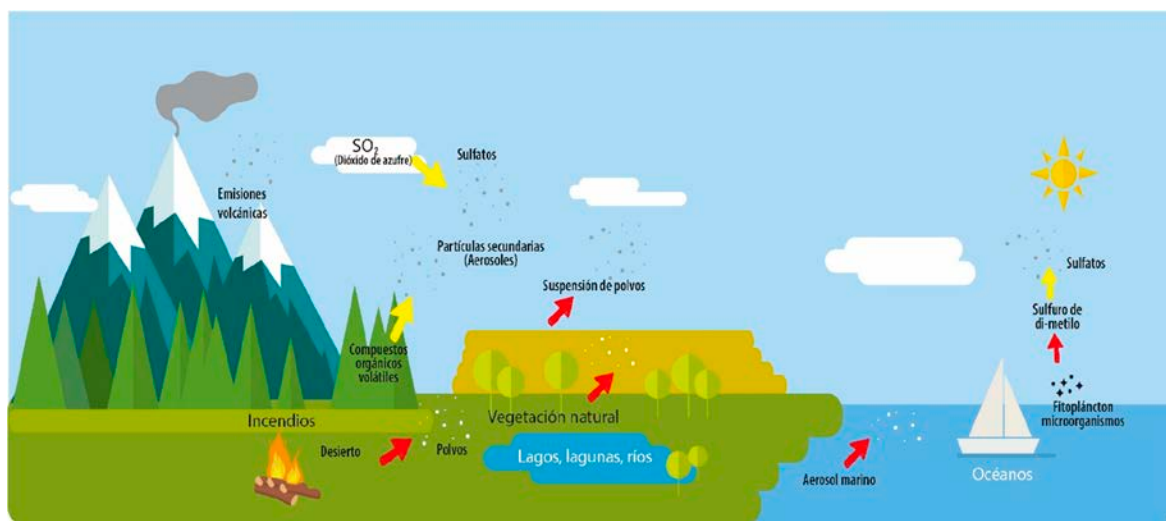
Estas partículas pueden ser emitidas a partir de fuentes naturales o antropogénicas. Las fuentes naturales son aquellas que emiten contaminantes al aire sin la participación de actividades humanas e incluyen al polen, los hongos, los virus, las bacterias, las partículas resultantes de erupciones volcánicas o tormentas de arena, los aerosoles marinos, entre otras. Las fuentes antropogénicas se

refieren a actividades realizadas por el hombre, tales como la quema de combustibles fósiles (petróleo y sus derivados) y biomasa (leña o carbón), el uso de automóviles y actividades de tipo industrial, etcétera. Otra forma de clasificar a las partículas  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  es de acuerdo con la forma en la cual son originadas pudiendo ser primarias, si se liberan directamente al aire a partir de una fuente de emisión como las anteriormente mencionadas, o secundarias, si se forman en la atmósfera a partir de reacciones químicas entre gases presentes en el aire, tales como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y amoníaco, a partir de las cuales se producen partículas de sulfatos y nitratos, así como partículas orgánicas secundarias.

La Figura 1 muestra las principales fuentes de partículas  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ .



Figura 1. Fuentes de partículas  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$  de origen primario y secundario.



**Figura 2.** Principales procesos de formación de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .

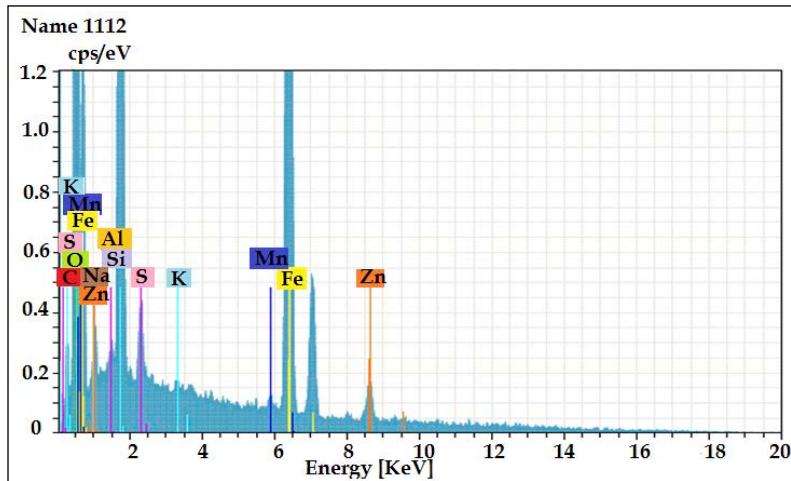
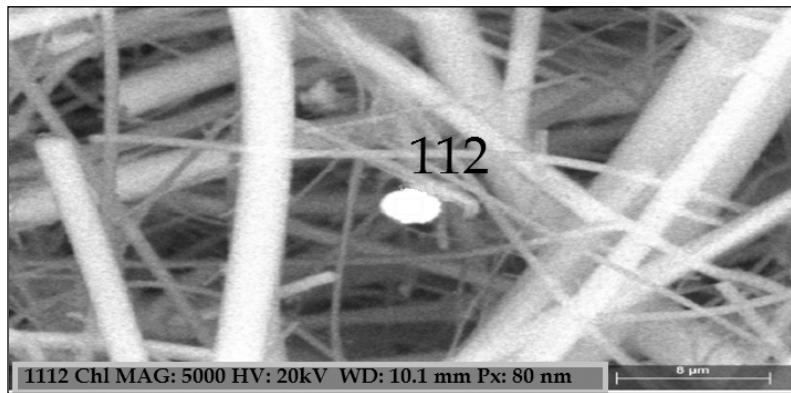
### ¿QUÉ CARACTERÍSTICAS TIENEN LAS PARTÍCULAS $PM_{2.5}$ Y $PM_{10}$ ?

Las partículas  $PM_{2.5}$  pueden resultar de procesos de condensación de gases, de procesos de sublimación inversa de gases, de reacciones químicas de gases presentes en el aire, y de procesos de disolución de gases en gotas de vapor de agua presentes en la atmósfera. Las partículas  $PM_{10}$  resultan de procesos de prensado, molienda, abrasión y de operaciones de reducción de tamaño, de evaporación de aerosoles atmosféricos, de suspensión de polvos de fuentes carreteras y no carreteras, y reacciones químicas de gases presentes en el aire (Rojano *et al.*, 2014). La Figura 2 muestra esquemáticamente algunos procesos de formación de las partículas atmosféricas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .

Las partículas  $PM_{10}$  pueden ser emitidas por erupciones volcánicas, re-suspensión de polvos e incendios. Las partículas  $PM_{2.5}$  (sulfatos) pueden formarse a partir de reacciones químicas de dióxido de azufre en presencia de humedad en el interior de nubes, así como también a partir de emisiones de sulfuro de dimetilo originado a partir de fitoplancton y microorganismos marinos. Por otro lado, también se pueden producir partículas secundarias (aerosoles) a partir de reacciones de partículas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  con compuestos orgánicos volátiles emitidos por la vegetación debido a estrés mecánico, hídrico o térmico.

Otra característica importante de las partículas es su tiempo de residencia en la atmósfera, el cual está determinado por su tamaño pues, según este, pueden sedimentar o permanecer suspendidas en el aire. Partículas con diámetros mayores a  $20 \mu m$  permanecen en suspensión durante algunos minutos u horas antes de sedimentar por gravedad, mientras que partículas más finas (con diámetros menores a  $2.5 \mu m$ ) pueden permanecer suspendidas durante días y hasta semanas antes de ser removidas por la acción de la lluvia (precipitación) o ser transportadas por acción del viento a zonas lejanas de sus fuentes de emisión. La abundancia en el aire de estas partículas se expresa en términos de su concentración másica, es decir, de la cantidad en masa de partículas (expresada en  $\mu g$ ) en una unidad de volumen de aire (expresada en  $m^3$ ). En dependencia de la temperatura y humedad del ambiente, las partículas pueden distribuir su masa en fase gas o en fase aerosol y, en correspondencia, sus concentraciones en el aire varían. Por ejemplo, si las partículas contienen sulfato de amonio o aerosoles orgánicos secundarios, su concentración puede incrementarse debido a cambios en la humedad y la temperatura que favorecen reacciones químicas de formación secundaria de partículas. Las partículas gruesas son insolubles y no higroscópicas

(es decir, no tienen la capacidad de retener agua), pueden ser eliminadas por gravedad y ser transportadas a cortas distancias por la acción del viento (a decenas de kilómetros a partir de su fuente de emisión). Las partículas finas son muy solubles e higroscópicas, suelen ser removidas del aire por la lluvia o por precipitación seca y, debido a su mayor tiempo de residencia, pueden ser transportadas de cientos, hasta miles de kilómetros, de su fuente de emisión. Otra propiedad importante de las partículas atmosféricas es su capacidad de absorber y dispersar la luz. En episodios de contaminación en las grandes ciudades, cuando se presentan altas concentraciones de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , existe una mayor dispersión de la luz, reduciéndose de forma importante la visibilidad (es decir el alcance visual) (Moreno *et al.*, 2003), lo cual suele afectar la operación de aeropuertos y carreteras.



**Figura 3.** Imágenes que muestran la forma de partículas colectadas en a) León, Guanajuato (Partícula  $PM_{10}$  con una morfología brillante y de forma semicircular, con un contenido elemental de los siguientes elementos mayoritarios: hierro, silicio, oxígeno, aluminio, magnesio, carbono, zinc, potasio, sodio y azufre, originada por fundición y relacionada con la industria acerera) y b) Monterrey, Nuevo León (a) Partícula  $PM_{2.5}$  brillante y de forma circular con aglomeraciones y con el siguiente contenido elemental: carbono, oxígeno, cobre, aluminio, silicio, azufre, calcio, potasio y bario, de origen antropogénico, asociada a emisiones vehiculares y procesos de combustión). Nota: El procesamiento de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC) del Centro de Investigación en Corrosión (CICORR) de la Universidad Autónoma de Campeche (UAC).

## ¿CÓMO SE VEN Y QUÉ FORMA TIENEN

### LAS PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS $PM_{10}$ Y $PM_{2.5}$ ?

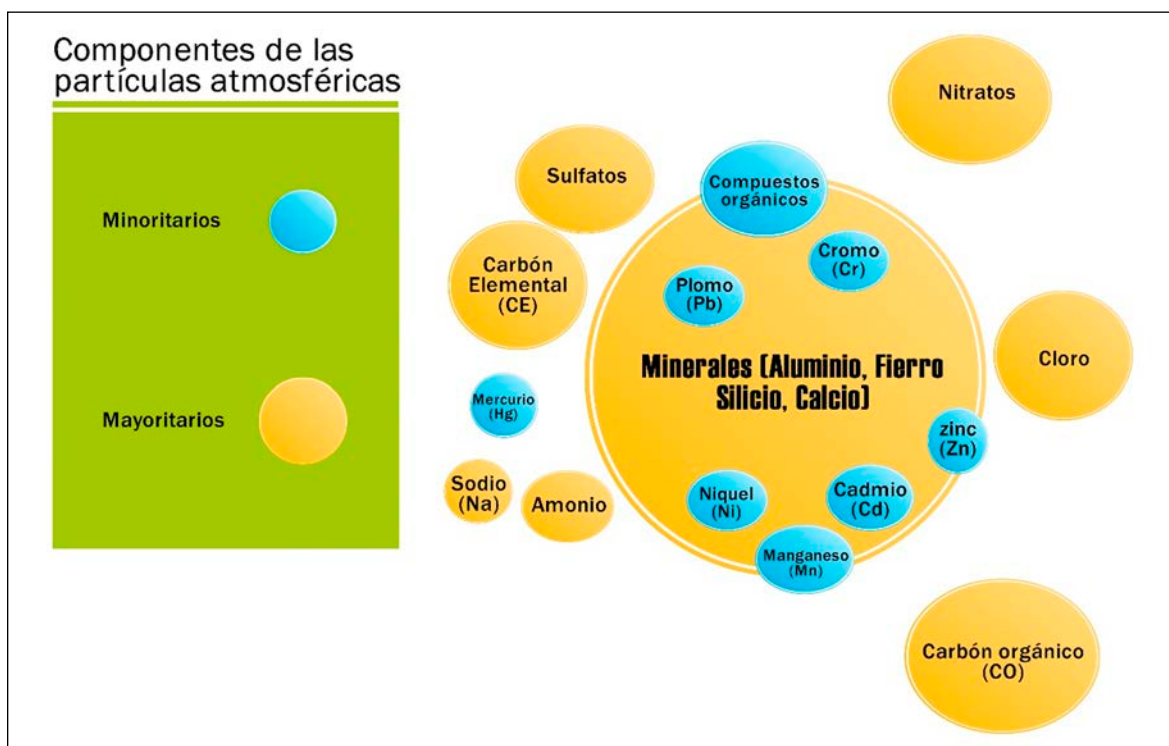
Se puede conocer la forma de las partículas mediante el uso de potentes microscopios que magnifican las imágenes de estas partículas hasta 500 veces o más (microscopios electrónicos de barrido), lo que permite identificar diversas formas de las partículas tales como esféricas, triangulares, elípticas, regulares, irregulares, etc., y que a simple vista o con el uso de microscopios convencionales menos potentes (microscopios ópticos) no sería posible observar (Aragón-Piña, 2011). En la Figura 3

se observan imágenes que muestran la forma de partículas colectadas en León, Guanajuato ( $PM_{10}$ ) y en Monterrey, Nuevo León, ( $PM_{2.5}$ ), analizadas mediante un microscopio electrónico de barrido acoplado a un equipo de espectroscopia de energías dispersivas (SEM-EDS), el cual permite, además, determinar la composición másica de elementos químicos presentes en las partículas analizadas.

## ¿CUÁL ES LA COMPOSICIÓN

### DE LAS PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS?

Las partículas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  están constituidas por elementos orgánicos e inorgánicos, algunos de los



**Figura 4.** Compuestos y elementos mayoritarios y minoritarios presentes en las partículas atmosféricas. Fuente: elaboración propia basada en consulta de bibliografía (Aiken *et al.*, 2009; Cerón-Bretón *et al.*, 2019).

cuales pueden ser tóxicos. Los aerosoles marinos están formados por sales como el cloruro de sodio, mientras que las partículas provenientes de la corteza de la Tierra están formadas por hierro, titanio y aluminio. Los procesos de combustión que usan combustibles fósiles como el carbón generan partículas ricas en carbón, conteniendo trazas de hidrocarburos. Las fuentes móviles (vehículos a motor) emiten partículas con un alto contenido de carbón orgánico y elemental, así como pequeñas cantidades de metales y sulfatos.

El tipo de fuente define el contenido de las partículas; sin embargo, con base en numerosos estudios, se pueden definir compuestos y elementos mayoritarios y minoritarios presentes en las partículas atmosféricas (Aiken *et al.*, 2009; Cerón-Bretón *et al.*, 2019) (Figura 4).

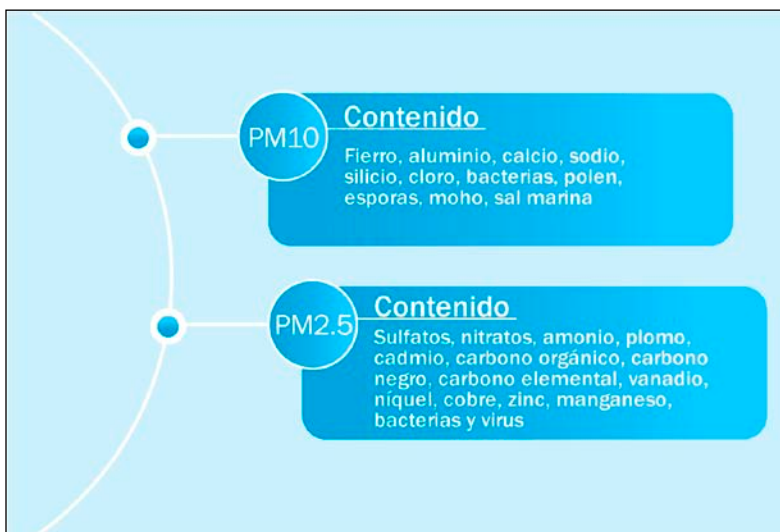
Las fuentes de emisión de partículas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  son diferentes y variadas, por lo que su contenido de elementos y compuestos químicos difiere también. Según algunos estudios llevados a cabo en diferentes partes del mundo (Romanazzi *et al.*, 2014; Cerón-Bretón *et al.*, 2019), el contenido usual

de las partículas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  es el que se muestra en la Figura 5.

#### EFFECTOS DE LAS PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS SOBRE LA SALUD HUMANA

La exposición a  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en el aire ocupa el quinto lugar en la lista de factores de riesgo de muertes prematuras en la población a nivel mundial (OMS, 2021), ocasionando 7 millones de muertes prematuras cada año. En niños, ocasiona una reducción del crecimiento y afectaciones en la función pulmonar, infecciones respiratorias y agravamiento de las condiciones en niños asmáticos. En adultos, sobre todo en personas de la tercera edad, la exposición a  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  puede provocar problemas cardiovasculares e incluso puede causar la muerte. La exposición a  $PM_{2.5}$  ha sido asociada al desarrollo de diabetes y enfermedades neurodegenerativas, al envejecimiento prematuro del tejido pulmonar, así como al desarrollo de cáncer

(Cohen *et al.*, 2019). La toxicidad de las partículas depende de su tamaño, morfología y composición química. PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> pueden contener trazas de metales pesados (Bánfalvi, 2011), siendo estos uno de sus constituyentes más peligrosos debido a la toxicidad que poseen algunos de ellos. Se les denomina “metales pesados” debido a que tienen una densidad alta (mayor a 4 g/cm<sup>3</sup>), un peso atómico mayor a 20, y son tóxicos aún a muy bajas concentraciones. Algunos de estos elementos son: cobalto, cobre, fierro, manganeso, cadmio, plomo, arsénico y mercurio (Cohen *et al.*, 2019); todos ellos son absorbidos y se acumulan en tejido animal y humano. Otros efectos adversos de los metales pesados presentes en las partículas incluyen inflamación pulmonar, lesiones cardiovasculares y daño al sistema nervioso (OMS, 2021). Algunos metales pesados como arsénico, cadmio, cromo y níquel han sido clasificados por la Agencia Internacional de Investigación sobre Cáncer como carcinogénicos (IARC, 2012). Se ha reportado que la exposición a estos metales provoca un mal funcionamiento de genes supresores de tumores, y que afecta a los procesos de reparación de daños y actividades enzimáticas involucradas en el metabolismo a través del daño oxidativo (Bánfalvi, 2011). En México se regulan los límites máximos de las concentraciones máxicas de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> permisibles en el aire ambiente, pero no se cuenta con regulaciones de las concentraciones de los componentes químicos que las constituyen. La Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021 establece que la concentración máxica de las partículas PM<sub>10</sub> no deben rebasar 70 µg/m<sup>3</sup> (promedio de 24 horas) y 36 µg/m<sup>3</sup> (promedio anual), mientras que las partículas PM<sub>2.5</sub> no deben rebasar 41 µg/m<sup>3</sup> (promedio de 24



**Figura 5.** Principales componentes de las partículas atmosféricas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. Fuente: elaboración propia con base en consulta de bibliografía (Romanazzi *et al.* 2014; Cerón-Bretón *et al.* 2019).

horas) y 10 µg/m<sup>3</sup> (promedio anual), durante el año 2022 (se ha establecido una disminución gradual a 1, a 3 y a 5 años). Por lo anterior, resulta clave que se sumen esfuerzos para reducir las emisiones de estas partículas a la atmósfera, y que se establezcan políticas y regulaciones ambientales más estrictas, sobre todo en ciudades de nuestro país donde el crecimiento urbano e industrial ha incrementado en los últimos años y en donde la calidad del aire puede ser mala, por lo que la salud de la población expuesta está en riesgo.

## R E F E R E N C I A S

- Aragón-Piña A (2011). ¿Cómo son las partículas atmosféricas antropogénicas y cuál es su relación con los diversos tipos de fuentes contaminantes? (1era. edición) México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Metalurgia-Facultad de Ingeniería San Luis Potosí, S. L. P. Editorial Groppe Libros.
- Aiken AC, Salcedo D, Cubison MJ, Huffman JA, DeCarlo PF, Ulbrich IM, Docherty KS, Sueper D, Kimmel JR, Worsnop DR, Trimborn A, Northway M, Stone EA, Schauer JJ, Volkamer RM, Fortner E, de Foy B, Wang J, Laskin A, Shutthanandan V, Zheng J, Zhang R, Gaffney J, Marley NA, Paredes-Miranda G, Arnott WP, Molina LT, Sosa G and Jimenez JL (2009). Mexico City aerosol analysis during MILAGRO using high resolution aerosol mass spectrometry at the urban supersite (T0)-Part 1: Fine particle composition and organic source apportionment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(17):6633-6653. <https://doi.org/10.5194/acp-9-6633-2009>.



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2006.

Aránguez E, Ordóñez JM, Serrano J, Aragonés N, Fernández-Patier R, Gandarillas A and Galán I (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista Española de Salud Pública* 73(2):123-132. [https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v73n2/contam\\_atmos.pdf](https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v73n2/contam_atmos.pdf).

Bánfalvi (2011). Heavy Metals, Trace Elements and Their Cellular Effects. En: Bánfalvi (Ed.). *Cellular Effects of Heavy Metals* (pp. 3–28). Springer, New York. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0428-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0428-2_1).

Cerón-Bretón JG, Cerón-Bretón RM, Espinosa Guzmán AA, Guarnaccia C, Martínez Morales S, Lara Severino RC, Rangel Marrón M, Hernández López G, Carranco Lozada SE, Kahl JDW, Pech Pech IE, Ramírez Lara E and Espinosa Fuentes ML (2019). Trace Metal Content and Health Risk Assessment of PM<sub>10</sub> in an Urban Environment of León, Mexico. *Atmosphere* 10(10):573-582. <https://doi.org/10.3390/atmos10100573>.

Cohen SM, Boobis AR, Dellarco VL, Doe JE, Fenner-Crisp PA, Moretto A, Pastoor TP, Schoeny RS, Seed JG, and Wolf DC (2019). Chemical carcinogenicity revisited 3: Risk assessment of carcinogenic potential based on the current state of knowledge of carcinogenesis in humans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 103:100-105. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.01.017>.

IARC (2012) Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to human. 100C. Lyon: International Agency for Research on Cancer; ISSN: 1017-1606. <https://monographs.iarc.who.int/>.

Moreno T, Gibbons W, Jones T and Richards R (2003). The geology of ambient aerosols: characterizing urban and rural/coastal silicate PM<sub>10-2.5</sub> y PM<sub>2.5</sub> using high-volume cascade collection and scanning electron microscopy. *Atmospheric Environment* 37(30):4265-4276. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00534-X](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00534-X).

NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0).

Organización Mundial de la Salud (OMS) 2021. Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire. <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>.

Rojano R, Arregoces H and Restrepo G (2014). Composición Elemental y Fuentes de Origen de Partículas Respirables (PM<sub>10</sub>) y Partículas Suspendidas Totales (PST) en el Área Urbana de la Ciudad de Riohacha, Colombia. *Información tecnológica* 25(6):3-12. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000600002>.

Romanazzi V, Casazza M, Malandrino M, Maurino V, Piano A, Schilirò, T and Gilli G (2014). PM<sub>10</sub> size distribution of metals and environmental-sanitary risk analysis in the city of Torino. *Chemosphere* 112:210-216. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.04.034>.

**Julia G. Cerón Bretón**  
**Rosa M. Cerón Bretón**  
**Reyna C. Lara Severino**  
**Universidad Autónoma del Carmen**  
**[jceron@pampano.unacar.mx](mailto:jceron@pampano.unacar.mx)**



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2007.

# Propiedades medicinales de las nanopartículas de selenio

**Fernando Martínez Esquivias**  
**Juan M. Guzmán Flores**

El selenio es un elemento esencial en la dieta, aportado principalmente por el consumo de productos cárnicos, vegetales, semillas y cereales. Este elemento es importante para el funcionamiento adecuado del sistema inmunitario, es parte fundamental de los sitios catalíticos activos de varias selenoproteínas y enzimas en el organismo, es un agente antioxidante y juega un papel importante en el metabolismo del yodo.

Además, la suplementación de selenio contribuye a prevenir el desarrollo de diversas enfermedades degenerativas, incluyendo cáncer y diabetes. Sin embargo, aunque el selenio es necesario para una buena salud, su consumo excesivo puede causar toxicidad (Huang *et al.*, 2022). Por lo tanto, los investigadores han buscado la manera de reducir su toxicidad para así poder aprovechar sus propiedades terapéuticas.

El selenio en forma de nanopartículas (SeNPs) ha mostrado ser menos tóxico al compararlo con otras especies de selenio.

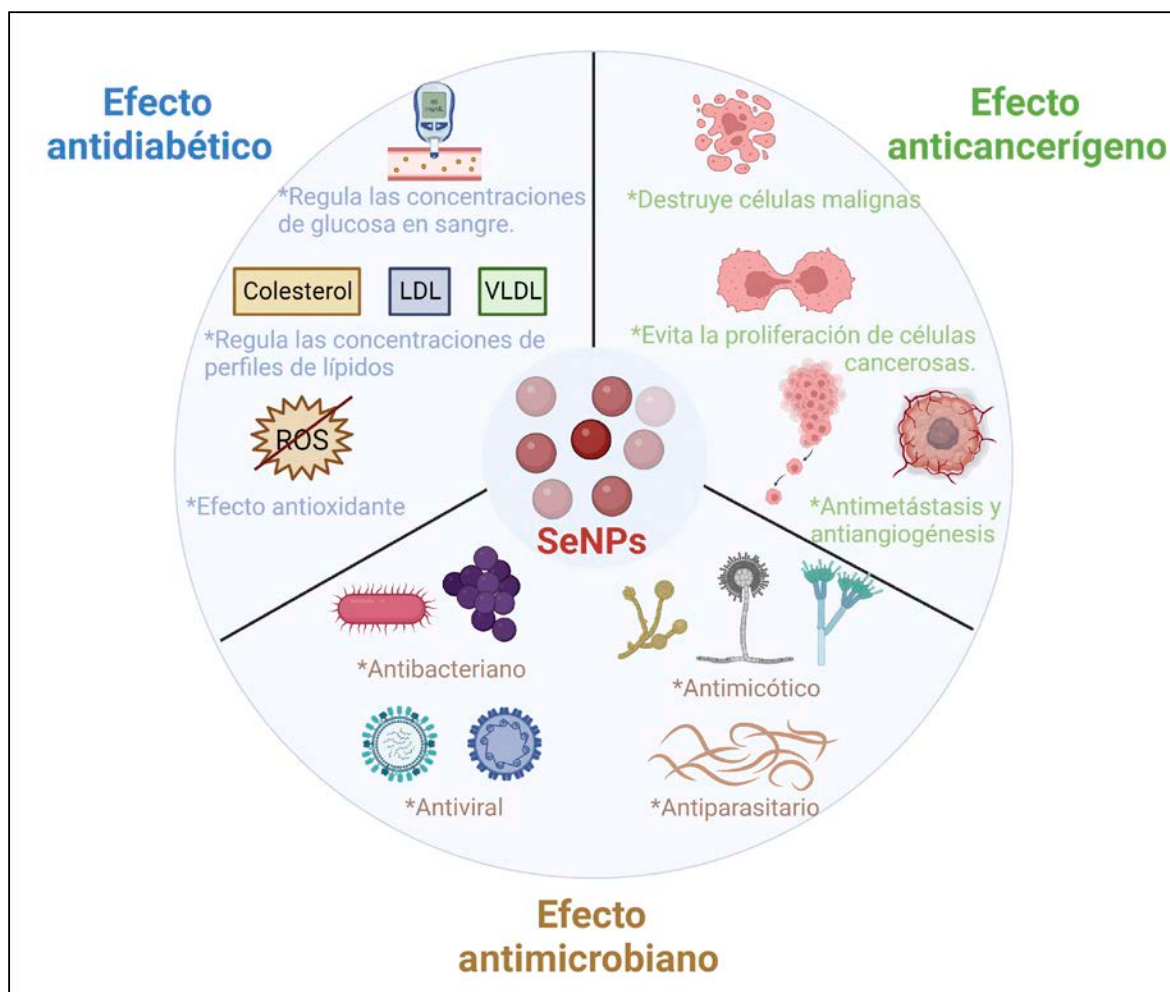
Las SeNPs son tres veces menos tóxicas que la seleniomietionina y siete veces menos tóxicas que el selenito de sodio. Actualmente, estudios *in vitro* e *in vivo* han demostrado el poder terapéutico de las SeNPs (Figura 1) debido a sus propiedades antidiabéticas, anticancerígenas y antimicrobianas.

## EFFECTO ANTIDIABÉTICO

La diabetes mellitus es una enfermedad que se caracteriza por la elevación de las concentraciones de glucosa en sangre con una alteración en el metabolismo de las proteínas y grasas. Estas alteraciones conducen a estados de estrés oxidativo que deterioran al organismo a nivel celular y sistémico. La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera a esta enfermedad un problema de salud mundial. Aunque existen diversos fármacos para el tratamiento de la diabetes mellitus, más del 50 % de los pacientes no logran regular de manera efectiva las concentraciones de glucosa en sangre. Además, la administración de fármacos antidiabéticos puede generar efectos adversos a corto y

largo plazo. Por lo tanto, la búsqueda de nuevas alternativas terapéuticas es importante.

El efecto antidiabético de las SeNPs se ha estudiado *in vivo* usando modelos murinos. Para ello, se induce la diabetes en los animales administrando agentes que destruyen las células beta pancreáticas o por la administración de dietas altas en grasas o azúcares. Una vez desarrollada la diabetes, se procede a la administración de SeNPs por vía oral. De manera general, se ha reportado un efecto antidiabético exitoso de las SeNPs al reducir las concentraciones de glucosa en sangre, disminuir el perfil de lípidos (colesterol, triglicéridos, lipoproteínas de baja densidad [LDL] y de muy baja densidad [VLDL]), aumentar el colesterol de alta densidad o “bueno” (HDL) y las enzimas antioxidantes como superóxido dismutasa



y catalasa, mitigando el estrés oxidativo característico de la diabetes (Martínez-Esquivias *et al.*, 2021).

Aunque diversos trabajos han aportado información útil sobre el efecto antidiabético de la administración de SeNPs en roedores, los mecanismos de acción de SeNPs no son del todo conocidos para decidir su utilidad clínica. Los humanos y los roedores tienen distintos mecanismos de procesamiento, absorción y desecho de estos agentes. Además, el efecto antidiabético en roedores no necesariamente puede funcionar en humanos, en los que, además, podría tener efectos secundarios no expresados en estudios con roedores. Por lo tanto, es necesario generar más evidencias del efecto y la seguridad de la administración SeNPs para posteriormente implementar estudios clínicos.

#### EFFECTO ANTICANCERIGENO

El cáncer es una enfermedad que se caracteriza por la multiplicación no controlada de células del organismo. Para el año 2020, la OMS reportó más de 19 millones de nuevos casos de cáncer y alrededor de 10 millones de muertes causadas por esta enfermedad. Los tratamientos contra el cáncer incluyen quimioterapia y radioterapia. Sin embargo, estos suelen ser poco efectivos y específicos debido a que pueden afectar tanto a células normales como cancerosas y puede desarrollarse resistencia a los tratamientos. Por lo tanto, el progreso de alternativas terapéuticas ha sido el centro de atención para diferentes áreas de la ciencia, incluidas la nanomedicina.

Se ha evaluado el efecto anticancerígeno de las SeNPs en estudios *in vitro*. De acuerdo con los reportes, la administración de SeNPs evita la proliferación de las células malignas, provoca la destrucción de las células cancerosas debido a la activación de mecanismos de apoptosis celular, son excelentes portadores de fármacos anticancerígenos, potencializan la destrucción de células malignas, aumentan los efectos benéficos de las radioterapias, disminuyen los mecanismos de invasión, metástasis y angiogénesis. Además, son altamente específicos al destruir células malignas y preservar células no cancerosas (Martínez-Esquivias *et al.*, 2022).

Aunque los estudios *in vitro* han demostrado el efecto anticancerígeno de las SeNPs, es necesario implementar estudios *in vivo* para evaluar la seguridad y efectividad del tratamiento. Una vez reunidas las evidencias necesarias podría pensarse en estudios con humanos para evaluar su utilidad clínica.

#### EFFECTO ANTIMICROBIANO

Los microorganismos tales como bacterias, virus, parásitos y hongos han desarrollado mecanismos para evadir la acción de los agentes farmacológicos. La resistencia a los antibióticos ha causado un problema de salud pública a nivel mundial debido a la falta de nuevos agentes para combatirlos. Se ha reportado que las SeNPs atacan de manera efectiva a las bacterias resistentes a los antibióticos. Por lo tanto, podrían considerarse como nuevos agentes antibacterianos que ayuden en el combate de la resistencia a los antibióticos una vez superados los obstáculos relacionados con perfiles de seguridad, mecanismos de acción y marcos regulatorios (Truong *et al.*, 2021). También se ha reportado que las SeNPs poseen actividad antiviral. Asimismo, las SeNPs han demostrado ser agentes antiparasitarios. Además, las SeNPs podrían ayudar a controlar vectores que transmiten enfermedades como Zika, fiebre amarilla, dengue y paludismo debido a su efecto

© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2009.





© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2009.

insecticida. Al parecer, las SeNPs pueden reducir la viabilidad de estos microorganismos debido a sus características fisicoquímicas, incluyendo tamaño, morfología, área superficial y a la presencia o ausencia de biomoléculas o fármacos cargados en la superficie (Martínez-Esquivias *et al.*, 2021).

## CONCLUSIÓN

Las nanopartículas de selenio tienen propiedades terapéuticas que podrían aprovecharse en el futuro para el tratamiento de algunas enfermedades. Sin embargo, organizaciones internacionales deberían centrar sus esfuerzos en generar los lineamientos para implementar estudios clínicos que marquen la pauta para definir su posible uso médico.

## REFERENCIAS

Huang J, Xie L, Song A and Zhang C. (2022). Selenium Status and Its Antioxidant Role in Metabolic Diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022, e7009863. <https://doi.org/10.1155/2022/7009863>.

Martínez-Esquivias F, Gutiérrez-Angulo M, Pérez-Larios A, Sánchez-Burgos JA, Becerra-Ruiz JS and Guzmán-Flores JM (2022). Anticancer Activity of Selenium Nanoparticles In Vitro Studies. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 22(9):1658-1673. <https://doi.org/10.2174/1871520621666210910084216>.

Martínez-Esquivias F, Guzmán-Flores JM, Pérez-Larios A, González Silva N and Becerra-Ruiz JS (2021). A Review of the Antimicrobial Activity of Selenium Nanoparticles. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 21(11):5383-5398. <https://doi.org/10.1166/jnn.2021.19471>.

Martínez-Esquivias F, Guzmán-Flores JM, Pérez-Larios A, Rico JL and Becerra-Ruiz JS (2021). A review of the effects of gold, silver, selenium, and zinc nanoparticles on diabetes mellitus in murine models. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*. <https://doi.org/10.2174/1389557521666210203154024>.

Truong LB, Medina-Cruz D, Mostafavi E and Rabiee N (2021). Selenium Nanomaterials to Combat Antimicrobial Resistance. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(12):3611. <https://doi.org/10.3390/molecules2612361>.

**Fernando Martínez Esquivias**  
**Juan M. Guzmán Flores**  
**Centro Universitario de Los Altos**  
**Universidad de Guadalajara**  
**[juan.guzman@cualtos.udg.mx](mailto:juan.guzman@cualtos.udg.mx)**

# Criopreservación espermática ante la pérdida de la biodiversidad

Jesús D. **Bustamante-González**  
Alejandro **Ávalos-Rodríguez**

México es considerado un país megadiverso; alberga entre 10 y 12 % de todas las especies registradas en el mundo, en su mayoría endémicas, lo cual lo ubica como el cuarto país con mayor biodiversidad. No obstante, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2022) ha reportado que la pérdida de hábitats, la introducción de especies invasoras, la sobreexplotación de los recursos, la contaminación y el cambio climático han impactado de manera adversa en la biodiversidad de nuestro país. Por ello, es de suma importancia perfeccionar, adaptar e implementar técnicas de reproducción asistida para la conservación y reproducción de diversas especies.

## REPRODUCCIÓN ASISTIDA

Diversos autores han estudiado cómo implementar y eficientizar las técnicas de reproducción asistida (TRA), incluyendo evaluaciones hormonales, inseminación artificial, fertilización *in vitro*, transferencia de embriones y criopreservación de embriones y gametos de múltiples especies de vertebrados de entre las cuales los mamíferos han sido las más estudiadas; no obstante, se estima que la biología reproductiva de estas especies solo se ha estudiado a fondo en ~ 0.05 % (Le *et al.*, 2021).

Aunado a lo anterior, las TRA también pueden ser aplicables a cualquier especie: aves, anfibios, reptiles y peces, sobre todo en aquellas que presentan problemas reproductivos asociados a las bajas densidades poblacionales en los hábitats o a la presencia de barreras geográficas que impiden el intercambio de material genético o, en su caso, en aquellas especies que se encuentran en riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2019).

## CRIOPRESERVACIÓN DE GAMETOS

La criobiología es la ciencia cuyo propósito es conservar la vida a bajas temperaturas, lo cual disminuye al mínimo el metabolismo celular. La posibilidad de suspender la actividad celular durante un tiempo indefinido y lograr una posterior activación ha sido usada eficazmente en la conservación y reproducción de múltiples especies (Bustamante *et al.*, 2019) (Tabla 1), lo cual ha permitido la creación de bancos de germoplasma para el resguardo de espermatozoides y ovocitos de diferentes especies.

El éxito de la criopreservación se logró en el siglo XX con la introducción de agentes crioprotectores intra o extracelulares como el glicerol, y subsecuentemente se mejoró con el descubrimiento del dime-tilsulfóxido (DMSO) aunado a la generalización del uso del nitrógeno líquido (-196 °C) en sustitución de la nieve carbónica (-79 °C) a partir de la década de 1950. A raíz de estos descubrimientos muchas células y tejidos empezaron a ser congelados.

## ¿CÓMO SE LLEVA A CABO

### LA CRIOPRESERVACIÓN ESPERMÁTICA?

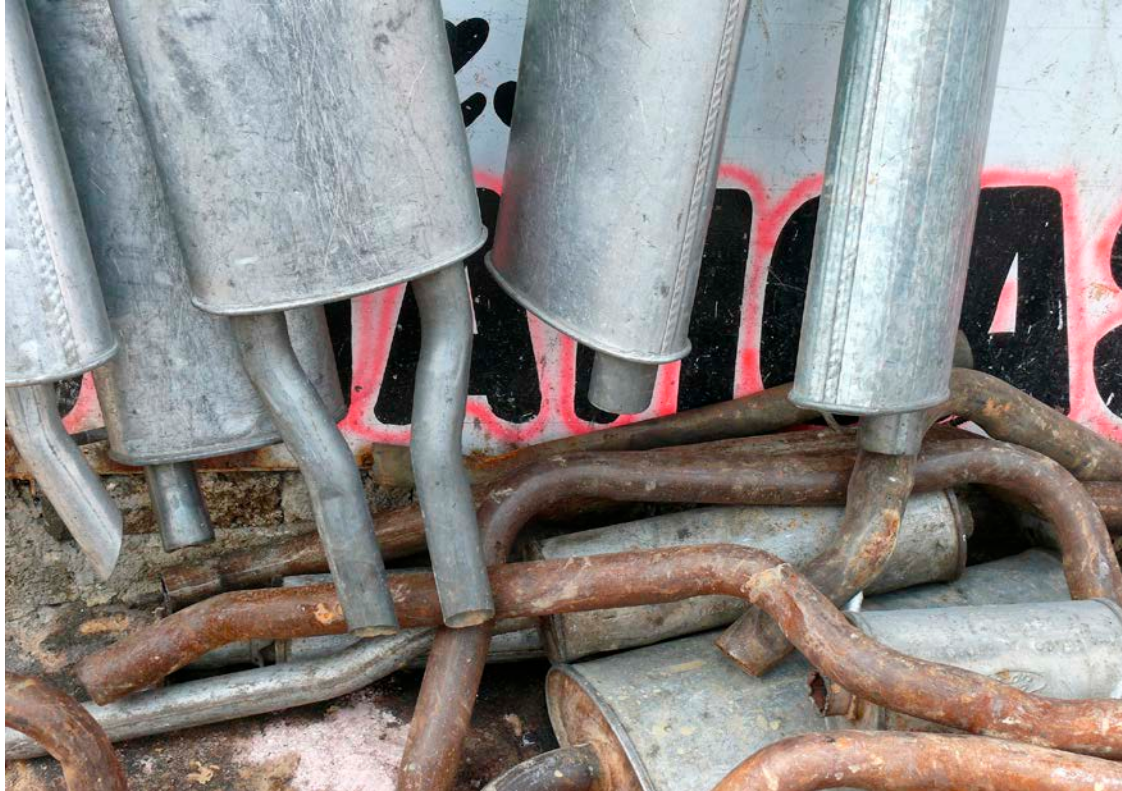
La criopreservación del semen implica mezclarlo en diluyentes y agentes crioprotectores permeables (bajo peso molecular) o no permeables (alto peso molecular) con propiedades osmóticas y nutricionales que, en conjunto, proporcionan un medio adecuado que reduce el daño durante la congelación y posterior al descongelamiento (Hezavehei *et al.*, 2018). Actualmente, la criopreservación espermática

| Clase     | Especie                          | Nombre común             |
|-----------|----------------------------------|--------------------------|
| Mamíferos | <i>Lynx canadensis</i>           | Lince de Canadá          |
|           | <i>Panthera onca</i>             | Jaguar                   |
|           | <i>Canis lupus signatus</i>      | Lobo ibérico             |
| Aves      | <i>Gallus gallus gallus</i>      | Gallo                    |
|           | <i>Spheniscus demersus</i>       | Pingüino de EL Cabo      |
|           | <i>Pygoscelis papua</i>          | Pingüino de pico rojo    |
|           | <i>Parabuteo unicinctus</i>      | Águila de Harris         |
| Anfibios  | <i>Anaxyrus fowleri</i>          | Sapo de Fowler           |
|           | <i>Anaxyrus houstonensis</i>     | Sapo de Houston          |
|           | <i>Peltophryne lemur</i>         | Sapo concho              |
|           | <i>Lithobates chiricahuensis</i> | Rana leopardo Chiricahua |
|           | <i>Ambystoma mexicanum</i>       | Ajolote de Xochimilco    |
| Reptiles  | <i>Bothrops jararacussu</i>      | Yararacusú               |
|           | <i>Bothrops atrox</i>            | Mapaná                   |
|           | <i>Bothrops moojeni</i>          | Caiyaca                  |
|           | <i>Crotalus durissus</i>         | Cascabel tropical        |
|           | <i>Crocodylus porosus</i>        | Cocodrilo marino         |
| Peces     | <i>Cyprinus carpio</i>           | Carpa                    |
|           | <i>Chirostoma jordani</i>        | Charal                   |
|           | <i>Danio rerio</i>               | Pez cebra                |

**Tabla 1.** Estudios recientes sobre criopreservación espermática en mamíferos, aves, anfibios, reptiles y peces.

es utilizada como una TRA cuyo objetivo ha sido sincronizar la disponibilidad de gametos (espermatozoides y óvulos), reducir el número de machos (sementales), facilitar el transporte, conservar la variabilidad genética *ante mortem* o *post mortem*, además de ser aplicable a la protección de especies amenazadas o en peligro de extinción (Hezavehei *et al.*, 2018).

Para proponer un protocolo de criopreservación de espermatozoides se deben de estandarizar y evaluar diversos parámetros, con la finalidad de obtener porcentajes elevados de viabilidad (porcentaje de espermatozoides vivos) y movilidad espermática (porcentaje de espermatozoides móviles) posdescongelación; por esta razón, es importante considerar la composición del diluyente, tipo y concentración de



© Enrique Soto. Serie "Mofes", 2007.

agentes crioprotectores, la unidad de envasado (criopaja) y las velocidades de congelación y descongelación, todo esto con el fin de crear un protocolo exitoso para la especie de interés (Bernáth *et al.*, 2016).

#### ¿LOS ESPERMATOZOIDES SON CAPACES DE FECUNDAR POSTERIOR A LA DESCONGELACIÓN?

La respuesta a esta interrogante es sí, siempre y cuando la viabilidad y la movilidad espermática posdescongelación sean las apropiadas, ya que la criopreservación induce una disminución significativa en el porcentaje de espermatozoides móviles posdescongelación; sin embargo, este decremento no limita su aplicación y eficiencia para realizar la fecundación. Una vez verificada la viabilidad y la movilidad espermática, se puede evaluar la capacidad fecundante de los espermatozoides mediante una TRA denominada fecundación *in vitro*, la cual consiste en poner en contacto directo los espermatozoides y los ovocitos para que se lleve a cabo la singamia y subsecuentemente el desarrollo de un embrión. Algunas especies donde se ha implementado de manera exitosa la fecundación *in vitro* con espermatozoides criopreservados son el lince de Canadá (*Lynx canadensis*) (González *et al.*, 2023), el león (*Panthera leo*) (Zahmel *et al.*, 2021), el gallo salvaje rojo

(*Gallus gallus murghi*) (Rakha *et al.*, 2020), la rana arlequín (*Spumarius complex*) (Naranjo *et al.*, 2022), el salmón del Atlántico (*Salmo salar*) (Erraud *et al.*, 2022) y el pez blanco (*Chirostoma estor*) (Motta *et al.*, 2021).

#### PERSPECTIVAS

La criopreservación de espermatozoides es una técnica eficiente ante la pérdida de la biodiversidad, ya que permite el resguardo por tiempo indefinido de material genético viable, lo cual facilita realizar o implementar técnicas de reproducción asistida cuando se requiera. La criopreservación se ha efectuado de manera exitosa en múltiples especies de mamíferos, aves, anfibios, reptiles y peces, por lo que puede ser utilizada para conservar espermatozoides de diversas especies, ya sea de importancia biológica o económica.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias a la beca postdoctoral otorgada por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) a JDBG (566816).



## REFERENCIAS

Bernáth G, Žarski D, Kása E, Staszny Á, Várkonyi L, Kollár T, Hegyi Á, Bokor Z, Urbányi B and Horváth A (2016). Improvement of common carp (*Cyprinus carpio*) sperm cryopreservation using a programmable freezer. *General and Comparative Endocrinology* 78–88.

Bustamante GJD, Rodríguez GM, Cortés GA, Arenas RE, Figueroa LG y Ávalos RA (2019). Fisiología y criopreservación del espermatozoide en teleósteos. *Revista AquaTIC* 1-17.

CONABIO (Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (2022). Recuperado de <https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque.html>.

Erraud A, Cornet V, Baekelandt S, Neus Y, Antipine S, Lambert J, Mandiki SNM and Kestemont P (2022). Optimal sperm–egg ratios for successful fertilization using fresh and cryopreserved sperm in wild anadromous Atlantic salmon (*Salmo salar* L. 1758). *Aquaculture* 1-6.

González R, Miller A, Vansandt LM and Swanson WF (2023). Characterization of basal seminal traits and semen cryopreservation in Canada Lynx (*Lynx canadensis*). *Theriogenology Wild* 1-12.

Hezavehei M, Sharafi M, Kouchesfahani HM, Henkel R, Agarwal A, Esmaeili V and Shahverdi A (2018). Sperm cryopreservation: A review on current molecular cryobiology and advanced approaches. *Reproductive BioMedicine Online* 327-339.

Le GS, Ferraz M, Venzac B and Comizzoli P (2021). Understanding and assisting reproduction in wildlife species using microfluidics. *Trends in Biotechnology* 584-597.

Motta CN, Junqueira MG, Simas FI, López GJ, Martínez CCC, Martínez PCA and Solis MLD (2021). Sperm characterization and

cryopreservation of the endangered freshwater fish *Chirostoma es-tor* (Atheriniformes). *Cryobiology* 81-86.

Naranjo RE, Naydenova E, Proaño BC, Vizuite K, Debut A, Torres, AM and Coloma LA (2022). Development of assisted reproductive technologies for the conservation of *Atelopus* sp. (*spumarius complex*). *Cryobiology* 20-31.

Rakha BA, Ansari MS, Akhter S, Akhter A, Blesbois E, Santiago MJ (2020). Effect of dimethylformamide on sperm quality and fertilizing ability of Indian red jungle fowl (*Gallus gallus murghi*). *Theriogenology* 55-61.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2019). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2019, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial De La Federación. Recuperado de: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019).

Zahmel J, Jansch S, Jewgenow K, Sandgreen DM, Skalborg SK and Colombo M (2021). Maturation and fertilization of African lion (*Panthera leo*) oocytes after vitrification. *Cryobiology* 146-151.

**Jesús D. Bustamante-González**

**Planta Experimental de Producción Acuícola  
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa  
CDMX**

[jesusbustamantegonzalez@gmail.com](mailto:jesusbustamantegonzalez@gmail.com)

**Alejandro Ávalos-Rodríguez**

**Laboratorio de Bioquímica de la Reproducción  
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco  
CDMX**

# Arcillas:

## los fertilizantes sustentables

Geolar **Fetter**  
Franchescoli D. **Velázquez Herrera**

En diversas circunstancias, el suelo destinado a la producción agrícola pierde los nutrientes necesarios para que las plantas se desarrollen adecuadamente. Los fertilizantes, que son productos que ayudan al enriquecimiento de los suelos mediante el aporte de nutrientes como nitrógeno, potasio y fósforo, ayudan a solventar este problema.

En la actualidad, existen diversos tipos de fertilizantes que se pueden clasificar en: químicos, orgánicos, sustentables y biofertilizantes.

### FERTILIZANTES QUÍMICOS

Los fertilizantes químicos son de origen inorgánico y se obtienen mediante procesos químicos, de tal manera que su composición se base en nitratos, fosfatos y minerales de potasio. El principal beneficio que presentan para la agricultura es que con ellos es posible obtener resultados muy rápidos. No obstante, a pesar de ser muy eficaces para los cultivos a gran escala, tienen la desventaja de que son altamente contaminantes, por ejemplo, al fertilizar los cultivos solo una parte es retenida por las plantas, mientras que otra parte, que llega a ser más del 50 % en muchos casos, suele ser arrastrada por el viento o la lluvia, contaminando ríos, lagos, estuarios y cuencas, entre otros, a través de un proceso conocido como eutrofización.



**Figura 1.** Imagen de una laguna contaminada por un proceso de eutrofización (Borrás, 2022).



**Figura 2.** Imagen de animales acuáticos muertos por la contaminación en la albufera del Mar Menor, Murcia, España.

Este proceso suministra un exceso de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, y provoca que las algas y otras plantas crezcan en abundancia (Figura 1). Durante el crecimiento y putrefacción de estas plantas se consume gran cantidad del oxígeno disuelto en el agua, y se aporta materia orgánica (fango) en abundancia, de manera que la superficie del agua queda cubierta, lo que impide que absorba oxígeno del aire, originándose así aguas con muy bajos niveles de oxígeno, lo que promueve la muerte y putrefacción de los peces, crustáceos y otros animales acuáticos.

Este fenómeno es cada vez más frecuente en todo el planeta. Un ejemplo es el caso del Mar Menor, en Murcia, España, donde en 2019 y 2021 aparecieron toneladas de peces muertos en las playas como resultado de la eutrofización de esta albufera (Figura 2).



**Figura 3.** Imagen de una playa de Cancún infestada de sargazo, Riviera Maya, México, agosto, 2022.

Otro fenómeno similar ocurre en la Riviera Maya (Figura 3), en donde la reciente invasión de sargazo a la costa ocasiona la alteración del ecosistema marino, derivado del exceso de nutrientes que promueven la eutrofización; además, la falta de animales acuáticos que lo consumen incrementa aún más este fenómeno, sin olvidar el malestar que se genera a los bañistas por el mal olor y la contaminación de las blancas arenas.

#### FERTILIZANTES ORGÁNICOS

A los fertilizantes orgánicos se les conoce como abonos, debido a que son de origen animal o vegetal. Su principal beneficio es el de mejorar el estado del suelo y favorecer la retención de agua y nutrientes, lo que permite tener una agricultura ecológica. Algunos de estos fertilizantes son el estiércol, el compostaje y los abonos verdes. No obstante, una de sus desventajas es que sus nutrientes tardan mucho tiempo en generarse y son menos solubles, haciendo que las plantas tarden más en absorberlos (comparado con los fertilizantes químicos). Otra desventaja la presentan el estiércol y el compostaje, los cuales generan suelos altamente ácidos que requieren el empleo de otras sustancias para remediar esta situación, sin olvidar la putrefacción de la biomasa con las consecuentes emisiones gaseosas que producen mal olor, son contaminantes y tóxicas. Del mismo modo, estos fertilizantes, dispersos en agua, se utilizan como medio de irrigación y fertilización simultánea.



**Figura 4.** Imagen de las colonias de bacterias del género *Rhizobium* fijadas a las raíces de una planta leguminosa.

Por ejemplo, el uso de aguas residuales o negras para el riego de cultivos, como ocurre en sembradíos de países en desarrollo o subdesarrollados; tal es el caso en algunas tierras del Estado de México, donde se emplean aguas negras para irrigar y fertilizar cultivos de maíz.

#### BIOFERTILIZANTES

Los biofertilizantes contienen microorganismos vivos que generan nutrientes para las plantas, mejorando la agricultura ecológica, ya que son muy respetuosos con el medio ambiente. Una de sus desventajas es que su aplicación se realiza a pequeña y mediana escala, debido a que su producción no es tan eficaz como la producción de los fertilizantes químicos.

No obstante, encuentran cada vez más aplicaciones para el cultivo de alimentos orgánicos, es decir, que no utilizan pesticidas artificiales, fertilizantes químicos o herbicidas. Un ejemplo de microorganismos empleados en estos fertilizantes es el *Rhizobium*, un género de bacterias del suelo que establece relaciones simbióticas con las plantas de tipo leguminoso, fijándose en sus raíces a través de agrupamientos de forma esférica o cilíndrica (Figura 4).

Estos fertilizantes tienen la capacidad de fijar nitrógeno proveniente del aire y así formar compuestos de nitrógeno como los nitratos. Además de estos microorganismos, se pueden encontrar otros con efecto fertilizante, como los *Azotobacter* o los *Azospirillum*.

#### FERTILIZANTES SUSTENTABLES

Los fertilizantes sustentables más que un tipo específico son un conjunto de fertilizantes muy variado que se caracteriza principalmente por el respeto al medioambiente debido a que protegen la calidad de los suelos y los mantos acuíferos. De entre toda la gama que existe, se pueden encontrar fertilizantes minerales que se consiguen partiendo de materias primas que proceden de la naturaleza. Un ejemplo de ellos son las arcillas.

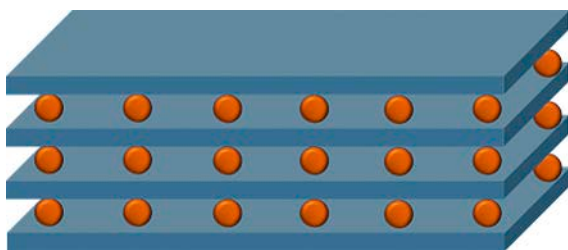
#### LAS ARCILLAS COMO FERTILIZANTES SUSTENTABLES

Las arcillas son minerales naturales o sintéticos que presentan una infinidad de aplicaciones. Son muy abundantes en la naturaleza y representan el 3 % de la corteza terrestre. Se suelen utilizar en aplicaciones, desde las más sencillas como la producción de ladrillos, hasta las más complejas como la elaboración de nanomateriales con enfoques biomédicos.

Las aplicaciones de las arcillas derivan de sus estructuras particulares que están formadas por el apilamiento de láminas de silicatos y otros compuestos. Entre las láminas se encuentran especies químicas iónicas que actúan como pilares, resultando en una estructura similar a la de un edificio con muchos espacios vacíos, lo cual origina materiales altamente porosos a escala nanométrica (Figura 5).

Es gracias a esta propiedad que tienen la capacidad de adsorber agua y otros compuestos en su interior. Además, tienen la flexibilidad de expandirse en presencia de agua y retraerse en ausencia de esta, constituyendo una estructura elástica.

Otro factor importante es su composición química, ya que, según los elementos presentes, pueden



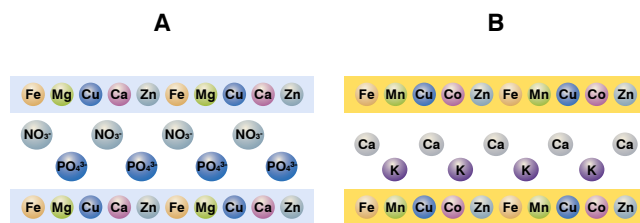
**Figura 5.** Representación de la estructura de una arcilla en donde se observa el apilamiento de las láminas y los iones intercambiables.

resultar en arcillas con propiedades ácidas o básicas, conductoras, semiconductoras o aislantes de electricidad, hidrofílicas o hidrofóbicas, suaves como el talco o rígidas como la piedra, blandas poco resistentes o compactas altamente resistentes, entre otras. Además, su bajo costo permite su explotación industrial.

La aplicación de las arcillas como fertilizantes sustentables se basa, por un lado, en los elementos químicos de su estructura que actúan como nutrientes o formadores de nutrientes para las plantas y, por otro, en la capacidad de retener nutrientes y agua en sus poros. Esta capacidad permite dividirlas en catiónicas y aniónicas. Las aniónicas pueden albergar iones de nitratos, boratos y fosfatos ubicados en los espacios interlaminares y que actúan como macronutrientes, mientras que sus láminas pueden contener iones de zinc, calcio, cobre, hierro o magnesio, que actúan como micronutrientes (Figura 6A).

Las arcillas catiónicas suelen contener en sus láminas elementos que sirven de micronutrientes como el hierro, manganeso, cobre, cobalto y zinc. Además, en los espacios interlaminares se pueden albergar macronutrientes como el potasio y el calcio (Figura 6B).

Tanto los elementos estructurales como los nutrientes localizados en los poros pueden ser liberados a las plantas de un modo controlado, adoptando el nombre de materiales de liberación controlada de sustancias. Este proceso es la base para que estos materiales se apliquen como fertilizantes óptimos, dado que los nutrientes son liberados a medida de



**Figura 6.** Representación de las estructuras de los dos tipos de arcillas: A) Aniónicas: se basan en cationes ubicados en las láminas y aniones entre las láminas y B) Catiónicas: presentan aniones en las láminas y cationes interlaminares.

la necesidad de las plantas, obteniendo un alto rendimiento en la captación de los nutrientes, en contraste con la poca efectividad de absorción de los fertilizantes químicos. Además, las arcillas actúan como reguladores del pH de los suelos. En suelos ácidos, la adición de arcillas aniónicas, de carácter básico, favorece la disminución de la acidez, mientras que, en suelos básicos, la basicidad es regulada por las arcillas catiónicas.

La sustentabilidad de las arcillas se basa en su naturaleza, ya que las técnicas empleadas en su producción son amigables con el medioambiente, y su utilización como fertilizantes no genera un impacto ecológico negativo y sí reduce los problemas de desperdicio de fertilizantes, además de disminuir el proceso de eutrofización y los costos de producción. Otro aspecto importante es que las arcillas son materiales no tóxicos y que, al contrario, suelen ser usadas en la desintoxicación por metales pesados o para la neutralización de la acidez estomacal.

Su empleo como fertilizantes sustentables no es nuevo, pues se tiene conocimiento de su uso en la época antigua, pero es solo en la actualidad que se retomó este concepto.

Contrario a sus bondades, el exceso en el empleo de arcillas como fertilizantes sustentables también puede provocar daños en las plantaciones.

Esto debido a su gran capacidad de retención de agua, lo que provoca una excesiva humidificación de los suelos y, consecuentemente, la putrefacción de las raíces y la muerte prematura de las plantas.

La fertilización con arcillas ha ido mejorando día a día, adaptándose a las necesidades de la época actual y generando una solución factible en muchos



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2007.

aspectos, como su alta disponibilidad y sus bajos costos, todo lo cual permite atender a los nuevos desafíos que presenta la agricultura sustentable.

## REFERENCIAS

- Benício LPF, Constantino VRL, Pinto FG, Vergütz L, Tronto J and Da Costa LM (2017). Layered Double Hydroxides: New Technology in Phosphate Fertilizers Based on Nanostructured Materials. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 5(1):399-409. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b01784>.
- Borrás C (2022). *Qué es la eutrofización: definición y características*. Ecología Verde. <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-eutrofizacion-definicion-y-caracteristicas-34.html>.
- de Castro GF, Zotarelli L, Mattiello EM and Tronto J (2020). Alginate beads containing layered double hydroxide intercalated with borate: a potential slow-release boron fertilizer for application in sandy soils. *New Journal of Chemistry* 44(39):16965-16976. <https://doi.org/10.1039/D0NJ03571H>.
- Del Hoyo C (2007). Layered double hydroxides and human health: an overview. *Applied Clay Science* 36(1-3):103-121. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.06.010>.
- DGCS-UNAM (2018). *México, segundo país en utilizar agua residual cruda para el riego*. DGCS de La UNAM. <https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/mexico-segundo-pais-en-utilizar-agua-residual-cruda-para-el-riego/>.
- Domínguez JM and Schifter I (1995). *Las arcillas: el barro noble*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Fetter G y Velázquez-Herrera FD (2020). Las bondades y maldades de las arcillas. *Materiales Avanzados* 32:24-28.
- Navarro García G y Navarro García S (2014). *Fertilizantes: química y acción*. México: Mundiprensa.
- Rives V (2001). *Layered double hydroxides: Present and future*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Velázquez Herrera FD y Fetter G. (2022). *Arcillas: Desvelando sus secretos*. México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

**Geolar Fetter**  
**Francescoli D. Velázquez Herrera**  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**Facultad de Ciencias Químicas**  
**[geolar.fetter@correo.buap.mx](mailto:geolar.fetter@correo.buap.mx)**



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2008.

# Desierto Sonorense: mucho que aportar a la humanidad

Hernán **Celaya Michel**  
Maryela **Celaya Rosas**

Los desiertos del mundo son sistemas ecológicos complejos, ricos en organismos vivos que interaccionan entre sí y con su medio físico; en ellos existe una gran variedad de especies de plantas, animales, hongos y microorganismos con adaptaciones especiales a la aridez.

Las regiones desérticas presentan características como poca lluvia, la cual es discreta, variable, infrecuente e impredecible. Cada desierto posee particularidades que lo diferencian de otros, como el nivel de presencia de plantas, el tipo de vegetación y la cantidad de biodiversidad, de manera que, en algunos desiertos puede apreciarse, según la temporada, un denso verdor, gran actividad de insectos polinizadores, numerosas flores de diferentes tamaños y colores, así como espectaculares atardeceres, tormentas eléctricas y relieves geográficos muy llamativos.

## DESIERTOS DE NORTEAMÉRICA

En Norteamérica existen cuatro grandes regiones desérticas (Figura 1):

1. Desierto de la Gran Cuenca.
2. Desierto de Mojave.
3. Desierto Sonorense.
4. Desierto Chihuahuense.

Desde el punto de vista geográfico, estos cuatro desiertos forman un extenso corredor árido, desde el sureste de Oregón en Estados Unidos, hasta los estados mexicanos de Guanajuato, Querétaro e Hidalgo, como se aprecia en la Figura 1 (Hernández, 2006).

De acuerdo con el INEGI, el 49.1 % del territorio de México es semiárido o árido. La mayor parte de estas áreas corresponde a las dos grandes regiones desérticas de México, los desiertos Chihuahuense y Sonorense, que ocupan una enorme extensión en el centro y norte del país (Van Devender, 2000).

### EL DESIERTO SONORENSE

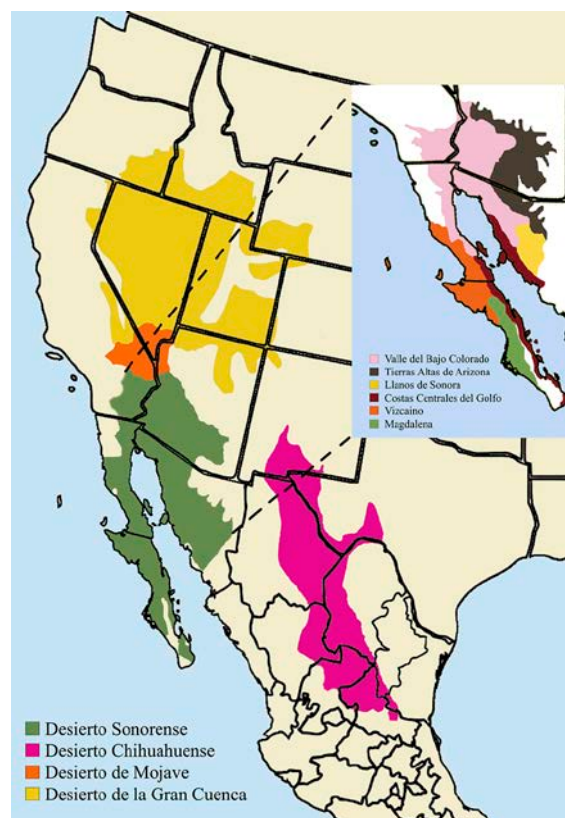
Se estima que el Desierto Sonorense se extiende 260,000 km<sup>2</sup> sobre la mayor parte del estado de Sonora y de la península de Baja California, junto con las islas del Mar de Cortés, así como en la mitad sur de Arizona y el extremo sureste de California (Whitford, 2002).

El Desierto Sonorense es reciente en tiempo geológico; se originó aproximadamente hace 8 millones de años en el Mioceno tardío, cuando enormes erupciones volcánicas cambiaron el clima y la geografía. Es considerado el más tropical de los desiertos de Norteamérica por su clima con pocas heladas y por su precipitación de verano proveniente de los océanos tropicales. La vegetación es estructuralmente diversa, incluye cactáceas columnares como el saguaro (Figura 2) y árboles de leguminosas, como el palo fierro, palo verde y mezquite, diferentes de los arbustos que dominan los otros desiertos de Norteamérica (Van Devender, 2000).

La lluvia promedio anual varía de 76 mm en las zonas más secas hasta 400 mm. Presenta un tipo biestacional de precipitación y los inviernos del Desierto Sonorense son menos fríos, a diferencia de los demás desiertos de Norteamérica. Esta combinación de lluvias de verano e invierno y menos tiempo con temperaturas congelantes, permite que en este desierto haya muchos árboles, a diferencia de otros desiertos del mundo (Celaya-Michel *et al.*, 2020).

Forrest Shreve fue la primera persona en definir el Desierto Sonorense; recorriendo la mayor parte a caballo a partir del año 1932, reconoció subdivisiones, basándose en su vegetación de acuerdo con su diversidad: Valle del Bajo Colorado, Tierras Altas de Arizona, Llanos de Sonora, Costas Centrales del Golfo, Vizcaíno, y Magdalena. Dimmit, en 2000, describe aspectos que caracterizan las subdivisiones (Figura 1) que se mencionan a continuación:

- Valle del Bajo Colorado. Toma su nombre por encontrarse en esta división la parte baja del río Colorado; es la subdivisión más grande, calurosa y seca. En verano la temperatura excede los 49 °C, y la temperatura de la superficie del suelo puede llegar a los 82 °C. La precipitación anual en las regiones más secas promedia 76 mm y algunos sitios han durado 36 meses sin lluvia. Las especies de plantas anuales de invierno representan del 50 a 90 % en algunos sitios de esta subdivisión.
- Tierras Altas de Arizona. Es la subdivisión más alta y fría, la única en presentar inviernos con temperaturas



**Figura 1.** Mapa con los cuatro grandes desiertos de Norteamérica (elaboración propia).



**Figura 2.** Imagen donde se aprecia al centro un saguaro como ejemplo de lo que se llama cactácea columnar.

congelantes que limitan la distribución de ciertas especies. Es llamado también “valle de saguaros y palo verde” por la abundancia en sus valles de estas especies (Figura 3).

- **Llanos de Sonora.** Es una región pequeña en el centro de Sonora que soporta una vegetación más densa que las dos subdivisiones anteriores, por su precipitación más abundante, predominantemente de verano y con suelos más profundos y finos. Presenta menos frecuencia y severidad de heladas, lo que permite más elementos tropicales; en su vegetación abundan árboles como palo verde, palo fierro y mezquite (Figura 4).

**Figura 3.** Imagen del Desierto Sonorense de las tierras altas de Arizona; se aprecia al arbusto conocido como hediondilla, de color anaranjado; además, cactáceas como saguaro, choya y pitahaya, así como palo verde y ocotillo.



**Figura 4.** Imagen de los llanos de Sonora con árboles llamados palo fierro y palo verde, además de zacates y hierbas que cubren el suelo en la época de lluvias de verano.

- **Costas Centrales del Golfo.** Ocupa una área delgada y alargada a ambos lados de la costa del Golfo de California; es extremadamente árida, la vegetación está dominada por grandes plantas de tallo succulento como la biznaga, el cardón y árboles como palo verde, ocotillo, palo fierro y torote. La precipitación anual es de 125 mm, sin embargo, un año sin lluvias no es raro en esta región.
- **Vizcaíno.** Se encuentra en la península de Baja California, llega hasta la costa del Océano Pacífico; la precipitación es baja, promediando 125 mm. Presenta especies como el cirio, cardones de 18 metros de alto; en años con mayor lluvia puede presentar apariciones masivas de especies anuales.
- **Magdalena.** Localizada en Baja California al sur de Vizcaíno, es muy similar en apariencia a esta subdivisión vecina, pero las especies presentan diferencias. La mayor parte de su precipitación ocurre en verano y su aridez es modificada por las brisas del mar; presenta una planta endémica postrada (que su tallo se apoya en el suelo) llamada chirinola (*Stenocereus eruca*), la cual se dice que “camina”, porque crece por un extremo y muere por el otro (Whitford, 2002).

## BIODIVERSIDAD

Una parte de las plantas del Desierto Sonorense es de origen tropical; sin embargo, las numerosas cadenas montañosas que limitan y atraviesan este



**Figura 5.** Suelo con “pavimento del desierto”, en la parte más árida del Desierto Sonorense.

desierto originan una gama diversa de regímenes climáticos, lo cual a su vez produce diversas agrupaciones de plantas. Se estiman 3,300 especies vegetales, una parte de ellas solo se encuentra en este desierto, es decir, son endémicas. Respecto a la fauna, se han reportado más de 500 especies de vertebrados, más de 30 especies nativas de peces de agua dulce. También se ha informado la existencia de 16 especies de anfibios y 148 de reptiles (Hernández, 2006).

Los mamíferos suman un total de 108 especies, entre ellos murciélagos, coyote, zorro, puma, gato montés, pecarí, venado bura, berrendo y borrego cimarrón. Abundan insectos como termitas, hormigas y abejas; de estas últimas se han registrado más de 1,000 especies (Hernández, 2006) y más de 350 especies de aves (Dimmit, 2000).

El Desierto Sonorense presenta 560 especies de plantas que crecen en condiciones de sequía y calor extremo. El saguaro es, por mucho, la especie más representativa; también se encuentran choya, pitaya, jojoba, y ocotillo (Van Devender, 2000).

#### PAVIMENTO DEL DESIERTO

En la parte más árida del Desierto Sonorense ocurre erosión a gran medida durante todo el año, tanto en la época seca, por el viento, como en la época de lluvias, por el agua. Podemos apreciar el pavimento del desierto (Figura 5), que vienen siendo pequeñas

piedras acomodadas, cubriendo el suelo, porque este fue arrastrado por erosión y solo las piedras quedan en la parte superior (Celaya-Michel *et al.*, 2020).

#### TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN

Los desiertos presentan días soleados y reducida cobertura vegetal, lo que provoca que la energía solar caliente la superficie del suelo durante el día; sin embargo, las mismas condiciones permiten que el calor se pierda con rapidez durante la noche. En consecuencia, las regiones desérticas presentan una considerable variación de la temperatura, pudiendo registrarse una variación de más de 30 °C en un día. Las temperaturas máximas en verano son del orden de 40 °C y las mínimas en el invierno pueden ser de hasta -18 °C (Whitford, 2002).

El Desierto Sonorense es el más cálido de los cuatro grandes desiertos de Norteamérica. Las temperaturas frías ejercen una gran influencia en la vegetación de los desiertos cálidos y en parte determinan los límites y la abundancia de distribución de especies (Van Devender, 2000).

Las lluvias suelen afectar áreas limitadas. A pesar de que la mayor parte del año puede no haber precipitación, es común la presencia de tormentas esporádicas que pueden ocasionar desbordamientos de arroyos, deslizamientos de terreno y erosión (Castellanos-Villegas *et al.*, 2010). Sin embargo, estos pulsos de precipitación son esenciales y están relacionados con patrones climáticos como el fenómeno de “El Niño” (Caso *et al.*, 2007).

#### FACILITACIÓN

Las condiciones adversas de los desiertos no permitirían la existencia de ciertas plantas y otros organismos vivos, de no ser por la facilitación. La facilitación es la interacción en la cual una planta hospedera o nodriza permite a otras especies sobrevivir bajo su sombra; se ha estudiado para el Desierto Sonorense y destaca para varios organismos. Más de 160 especies de plantas dependen, para su regeneración, de leguminosas como palo fierro y mezquite (Whitford, 2002).

Esa propiedad se ha documentado para arbustos y árboles, la cual permite que plantas jóvenes de otros individuos sobrevivan (Celaya-Michel *et al.*, 2020). Ejemplos de lo anterior son la biznaga y el saguaro, que sufren alta mortalidad en sus primeros años debido a su pequeño tamaño en suelos desnudos que pueden superar los 70 °C, mientras que bajo la sombra de otras plantas está a 11 °C menos, es decir, en una temperatura más fresca, lo que aumenta la supervivencia de dichas cactáceas (Callaway, 2007).

#### APROVECHAMIENTO DEL DESIERTO SONORENSE

Durante siglos, el Desierto Sonorense en algunas de sus regiones estuvo habitado por etnias como los Tohono O'odham, los Seris y los Yaquis, quienes sobrevivieron ante las difíciles condiciones de calor extremo y poca precipitación, adaptándose a su entorno, sacando provecho de su conocimiento ancestral sobre plantas medicinales y alimentándose de los recursos de plantas y animales que proveía estacionalmente este desierto.

Un ejemplo de planta utilizada como alimento por los primeros colonizadores es la saya o temaqui (*Amoreuxia* spp.), de la que todas sus partes son comestibles y se ha mencionado como un posible nuevo cultivo a estudiar desde hace varias décadas (Gentry, 1959).

Hace alrededor de 500 años, con la llegada de los primeros colonizadores europeos, se inició un crecimiento poblacional y la creación de nuevas ciudades. Además de que se trajeron animales domésticos como caballos, vacas, cerdos, borregos y cabras. Y nuevos cultivos agrícolas como el trigo, la naranja, la vid y el olivo, entre otros (Whitford, 2002).

Hace aproximadamente 70 años, en 1954, se introdujo una especie africana conocida como zacate buffel, que se ha sembrado por los ganaderos buscando incrementar la producción de alimento para el rebaño (Castellanos-Villegas *et al.*, 2010).

Por sus características, se está dispersando activa y naturalmente desde las áreas sembradas hasta ocupar casi todo Sonora, el sur de Arizona y algunas áreas de la península de Baja California.



**Figura 6.** Área agrícola de la costa de Hermosillo, con suelos fértiles y riego con agua extraída de pozos.

No se consideraron aspectos ecológicos y de funcionamiento al introducir esta especie, de tal forma que ahora representa una amenaza a la diversidad biológica desde el punto de vista genético, de población y especies, por la competencia, porque favorece fuegos y afecta la sucesión (D'Antonio y Vitousek, 1992).

Esos cambios pueden indudablemente afectar la estructura y procesos de ecosistemas (Whitford, 2002) como el Desierto Sonorense.

Igualmente, décadas atrás, una parte de esta región ha sido desmontada para el establecimiento de áreas agrícolas (Figura 6) que en algunos casos continúan funcionando, pero en otros se encuentran como campos agrícolas abandonados debido a que en algunas partes la actividad agrícola ya no fue posible por el abatimiento de pozos y por no contar con agua para riego.

Otros aprovechamientos de los recursos naturales del Desierto Sonorense han sido la extracción de leña, madera, fauna cinegética, actividad minera, establecimiento en la costa de granjas productoras de camarón, entre otras actividades productivas (Castellanos-Villegas *et al.*, 2010).

#### CONCLUSIONES

El vasto territorio del Desierto Sonorense, que abarca partes de México y Estados Unidos, es una región maravillosa con una gran biodiversidad, y



representa un tesoro para la humanidad. Muchas de sus plantas no han sido estudiadas aún y el potencial uso para obtener servicios para la humanidad a partir de ellas es muy grande, por ejemplo, como futuros nuevos cultivos o para uso medicinal.

El uso sustentable de los recursos naturales debe ser lo que nos guíe hacia el aprovechamiento correcto. Las divisiones de este desierto con condiciones particulares de suelo, plantas y animales que en él viven, deben ser elementos a considerar para el uso de los recursos naturales, su diversificación, rehabilitación y regeneración, para asegurar su sustentabilidad y conservarlo para las futuras generaciones.

## REFERENCIAS

Callaway RM (2007). Positive Interactions and Interdependence in Plant Communities. Dordrecht: Springer. 27-29.

Caso M, Gonzales-Abraham C y Ezcurra E (2007). Divergent ecological effects of oceanographic anomalies on terrestrial ecosystems of the Mexican Pacific coast. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 (25):10530-10535.

Castellanos-Villegas *et al.* (2010). Impactos ecológicos por el uso del terreno en el funcionamiento de ecosistemas áridos y semi-áridos. En: Molina-Freaner FE y Van Devender TR (Eds.). *Diversidad biológica de Sonora*. (pp: 157-186). CONABIO-UNAM, México...

Celaya-Michel H, Hinojo-Hinojo C, Celaya-Rosas M, Valdez-Zamudio D y Rueda-Puente EO (2020). Plantas nativas más comunes de las zonas áridas de Sonora. Universidad de Sonora. Colección de Textos Académicos. Hermosillo, Sonora. 255 p.

D'Antonio CM y Vitousek PM (1992). Biological Invasions by Exotic Grasses, the Grass/Fire Cycle, and Global Change. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 23:63-87.

Dimmit MA (2000). Biomes and communities of the Sonora desert region. En: Phillips SJ y P Wentworth, *A natural history of the Sonoran Desert*. Tucson: Arizona-Sonora Desert Museum. 3-18.

Gentry HS (1959). Economic crops for arid lands. Unpublished manuscript, copy deposited at Desert Botanical Garden. Phoenix, Arizona.

Hernández HM (2006). La vida en los desiertos mexicanos. *La Ciencia para Todos* 213, Fondo de Cultura Económica, México, D. F. 13-21 y 36-82.

Van Devender T (2000). En: Phillips SJ y P Wentworth. *A natural history of the Sonoran Desert*. Tucson: Arizona-Sonora Desert Museum. 61-62.

Whitford WG (2002). Ecology of desert systems. Academic Press. 11-12, 138, 258-266 y 288.

**Hernán Celaya Michel**  
Departamento de Agricultura y Ganadería  
Universidad de Sonora  
[hernan.celaya@unison.mx](mailto:hernan.celaya@unison.mx)

**Maryela Celaya Rosas**  
Estudiante de la Licenciatura en Biología  
Universidad de Sonora

# Un paseo por las milpas del Cofre de Perote de Veracruz

**Samuel Cruz-Esteban**  
**Carlos A. Cultid-Medina**  
**Simoneta Negrete-Yankelevich**

En los municipios de Ayahualulco, Xico o Acajete, situados en las montañas del Cofre de Perote, del Estado de Veracruz (Figura 1), aún se pueden observar montañas cubiertas de diferentes árboles como pinos, otros maderables y frutales. Se disfruta de un clima fresco durante todo el año, pero la temperatura desciende al final y al principio de cada año. El principal cultivo es la milpa, conformada por al menos tres tipos de maíces (amarillo, blanco y negro), dos de frijol (gordo y negro; Figura 2), al igual que en otros estados del país. Pero las semillas de estos cultivos que crecen específicamente en estas comunidades están adaptadas a la región. Según comentan los agricultores, muchos han intentado cultivarlos en otras regiones y no han tenido éxito. Un sinnúmero de hierbitas crecen en el interior de la milpa. Estas plantas desempeñan una función importante, ya sea atrayendo, repeliendo o como fuente de alimento de numerosos insectos, como algunos herbívoros. Si estas plantas no estuvieran presentes, el maíz sería el único alimento para los insectos herbívoros y muchas cosechas se perderían. Además, tanto en el borde como en el interior de la milpa crecen flores que atraen, alimentan y preservan a polinizadores (sobre todo nativos), que son importantes para muchos cultivos, principalmente para la milpa (Figuras 3 y 4). Aquí presentamos una breve semblanza de la riqueza que aún existe en estas milpas y



**Figura 1.** Desayuno (A) y un vistazo a las milpas desde la falda del Cofre de Perote, Veracruz (B). Fotografía: Samuel Cruz.

explicamos por qué debíamos redoblar esfuerzos para estudiarla y preservarla, para mejorar así la productividad y el valor nutricional de los alimentos que de ella se cosechan y que siga siendo parte fundamental del sustento de todas las familias que habitan estas regiones.

#### **AGROECOSISTEMA MILPA, UN MUNDO QUE DEBES CONOCER**

El maíz (*Zea mays* L.) es la principal fuente de alimentación en México. En las últimas décadas se ha propiciado el monocultivo de variedades mejoradas de este grano básico con el fin de obtener una mayor producción, aunque muchos productores a lo largo del país, sobre todo indígenas y campesinos de montaña, aún prefieren cultivar semillas nativas (llamadas maíces criollos), que se caracterizan por sus variados colores, tamaños y formas (Figura 2), y que se han adaptado a los climas y suelos específicos de los sitios donde crecen (Brush y Perales, 2007). Pequeñas extensiones cultivadas de estos maíces criollos que crecen en conjunto con frijoles –también locales–, además de calabazas y otras herbáceas comestibles y medicinales, cuando están cercanas a las casas de los agricultores, se vuelven también un recurso para la cría de gallinas, y en sus bordes, para la cría de borregos y algunos becerros.

La milpa funciona como un ecosistema en sí mismo. En ella interactúan plantas, animales, hongos y bacterias, entre ellos y con el medio físico y clima. A estos ecosistemas asociados a la producción agrícola los llamamos agroecosistemas. La milpa, al funcionar como un ecosistema en el que unos organismos se regulan a otros en una intrincada cadena trófica (en la que unos seres vivos se alimentan de otros), ha sido de gran beneficio para la alimentación y salud humanas en México y sigue siendo el sustento en muchas comunidades del país, incluyendo los municipios de Ayahualulco, Xico y Acajete en el Cofre de Perote, Veracruz.



**Figura 2.** Maíces y frijoles locales de los municipios de Ayahualulco, Xico y Acajete, Veracruz. Fotografía: Samuel Cruz.



**Figura 3.** Algunos recursos florales de bordes e interior de las milpas de Ayahualulco, Xico y Acajete, Veracruz. A) *Taraxacum officinale*, B) *Cucurbita* sp. C) *Oxalis jacquiniana*, D) *Aster* spp., E) *Tinantia erecta*, D) *Phaseolus vulgaris*, E) *Phaseolus coccineus* (frijol Ayocote), F) *Lopezia racemosa*. Fotografías: Samuel Cruz.

### PLAGAS INSECTILES, DEPREDADORES Y PARASITOIDES

En nuestro recorrido pudimos encontrar algunas plantas dañadas por larvas del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), la larva de una palomilla nocturna que suele alimentarse del cogollo de las plantas de maíz.

Debido a la autorregulación del sistema milpa y a los bosques de montaña que le rodean, también pudimos encontrar un sin número de depredadores y parasitoides de gusanos, tales como arañas, catarinas, tijeretas, chinches, avispas y moscas que controlan este tipo de plagas porque se alimentan de sus huevos y larvas o parasitan a estos.

En particular, observamos una avispa llamada *Chelonus insularis* Cresson (Hymenoptera: Braconidae), otra avispa de color amarillo *Odontepyrus* spp. (Hymenoptera: Bethyidae); ambas depositan sus huevos en las larvas de lepidópteros pertenecientes a Noctuidae, Pyralidae, Oecophoridae y Tortricidae y no les permiten desarrollarse (Lim y Lee, 2013). También hay moscas cuyas larvas parasitan larvas de lepidópteros (*Exorista sorbillans*, *Archytas marginatus*), *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitoide de huevos de lepidópteros, entre otros.

Asimismo, se observaron avispas alfareras *Eumenes* sp. (Hymenoptera: Eumeninae) cazadoras de larvas de lepidópteros, tijeretas *Forficula* spp. *Lan-naeus* (Dermaptera: Forticulidae) que se alimentan

de larvas pequeñas de lepidópteros, *Hippodamia convergens* Guerin-Méneville y *Cycloneda sanguinea* Linnaeus (Coleoptera: Coccinellidae), ambas depredadoras de insectos pequeños como pulgones y huevos de lepidópteros; *Olla v-nigrum* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) y *Orius* spp. (Hemiptera: Anthocoridae), ambos depredadores de larvas pequeñas de lepidópteros, pulgones, entre otros. *Chrysoperla* spp. Steinmann (Neuroptera: Chrysopidae) y *Syrphus* spp. Fabricius (Diptera: Syrphidae) cuyas larvas se alimentan de huevos y larvas pequeñas de lepidópteros y coleópteros.

Por las condiciones mencionadas, el gusano cogollero rara vez se ha propagado hasta provocar daños masivos, como sucede en los monocultivos de variedades mejoradas (Cruz-Esteban *et al.*, 2020). Los agricultores han notado también que en temporadas en que el calor incrementa de manera inusual, los cultivos con maíces locales se han visto atacados por esta plaga.

Otra plaga del maíz en la región es el escarabajo *Macrodactylus* spp. (Coleoptera: Scarabeidae), que en estado larvario se alimenta de las raíces de plantas de maíz y en estado adulto come el polen y los pelos de los jilotes de maíz, evitando su polinización, lo que produce pérdidas o reducción del rendimiento.

Este escarabajo también se alimenta de follajes tiernos de frijol, flores, frutos y secreciones de savia dulce de numerosas plantas silvestres y cultivadas (Morón *et al.*, 2015).



**Figura 4.** Algunos visitantes florales de las milpas de Ayahualulco, Xico y Acajete, Veracruz. A) Diptera, B) *Apis mellifera* (Abeja de la miel), C) *Bombus ephippiatus* (Jicote), D) *Partamona* sp. (Abeja sin aguijón). Fotografías: Samuel Cruz.

Los agricultores les llaman frailecillos, taches, tarchis chochos, carga-tu-tata, y comentan que no es una plaga constante. Esto se debe a que solo se presenta una generación por año, tampoco se ha presentado en años consecutivos, pero cuando se presenta ha causado daños significativos.

También el frijol presenta plagas, por ejemplo, la babosa o limaco (Pulmonata: Testacellidae) por lo general se alimenta del tronco de la planta de frijol, provocando su muerte fatal.

Poco sabemos de los controladores naturales de estas dos últimas plagas, por lo que se requiere mayor investigación para entender sus interacciones en el agroecosistema de la milpa. La milpa como ecosistema se caracterizan por ser refugio de muchos polinizadores, tanto exóticos como nativos (Figura 4).

Los bosques de las montañas que rodean a las milpas se complementan con ellas, ya que de ahí vienen los insectos que regresan a refugiarse dentro del bosque cuando escasean las plantas en la milpa. Afortunadamente, los agricultores de estas regiones no acostumbran el uso de plaguicidas, por lo que aún se pueden observar muchos más insectos benéficos y polinizadores en comparación con los monocultivos de maíz de otras regiones.

## CONTROL ETOLÓGICO DE PLAGAS EN LA MILPA

Como hemos dicho, en los sistemas de milpa aún existe un equilibrio ecológico donde los enemigos naturales (parasitoides y depredadores) mantienen bajo control a las poblaciones de insectos plagas, por lo que la necesidad de utilizar plaguicidas es mínima, y con ello se desarrolla una multitud de interacciones entre plantas e insectos. Sin embargo, como las milpas son pequeñas extensiones, los agricultores deben cuidar permanentemente sus cultivos y detectar de inmediato cualquier ataque de insectos y plagas.

En el proyecto, denominado Biodiversidad en la milpa: bases para la seguridad alimentaria de mujeres, adolescentes y niños rurales (PRONAI SSYS, CONACYT), también llamado Mano Vuelta, tenemos el propósito de hacer investigación e incidencia orientadas a promover la seguridad alimentaria de las familias rurales que dependen de la milpa de una manera sostenible. Entre muchos otros aspectos, estamos haciendo investigación con miras a implementar un control con productos naturales, basado en el conocimiento de la biología y el comportamiento de las plagas en las milpas del Cofre de Perote. Una de las estrategias se basa en la comunicación química entre los individuos de la misma especie a través de feromonas sexuales, sustancias que los insectos utilizan para encontrarse y reproducirse. También se aprovecha la detección de señales químicas (kairomonas) para ubicar a las plantas y frutos hospederos. La respuesta de los insectos a estos estímulos en sus propios ambientes naturales puede ser utilizadas para diseñar trampas específicas para la captura de palomillas y escarabajos que, siendo cebadas con el atrayente correcto (feromona o kairomona), permitirían atraer y capturar machos, en el caso del gusano cogollero, y ambos sexos, en el caso de escarabajos como el tarche (Cruz-Esteban *et al.*, 2022). Para controlar la población de babosas se pueden utilizar pedazos de tejas para que estos moluscos se agreguen bajo las tejas en busca de ambientes húmedos. Es así como se recolectan para alejarlas de los cultivos. Finalmente, es posible

utilizar extracto de ajo como repelente en el tallo de los cultivos hospederos, que evita su acercamiento (Coto y Saunders, 1987; Graziati, 2022).

## CONCLUSIONES

En el proyecto Mano Vuelta, productores, académicos y técnicos de milpa estamos investigando e integrando técnicas de control biológico y etológico, técnicas amigables con el medio ambiente y la salud humana para contribuir a la mitigación de plagas en un sistema milpa en la región del Cofre de Perote, Veracruz. Estudiamos las interacciones planta-insectos (tanto benéficas como perjudiciales para la planta), como polinización y herbivoría. Esto nos ayudará a establecer programas de control que nos permitan interactuar de manera saludable con los insectos benéficos y los perjudiciales para el cultivo. De esta forma será posible promover en el largo plazo el funcionamiento de los agroecosistemas de milpa, para que puedan seguir siendo parte del sustento de las familias que habitan en esta región y en la mayor parte del país.

## AGRADECIMIENTOS

Aprender de las milpas del Cofre de Perote (Veracruz) ha sido posible gracias al constante apoyo de las familias campesinas de Saucal, Encinal II, Zapotal del municipio de Acajete; de Matlalapa, Coatitlan y Xico Viejo en la jurisdicción de Xico, y de la comunidad de Ocotepec en el municipio de Ayahualulco. Extendemos un especial agradecimiento a las y los promotores Andrés Melchor Colotl, Luis Morales Cortés, Sonia Rodríguez Ramírez, y las mujeres del colectivo DeMano en Ocotepec. El trabajo de campo se ha realizado con el apoyo logístico (muestreo y determinación taxonómica de plantas e insectos) de los técnicos Lic. José V. Ceballos Cortina, MC. Claudia Gallargo, Ing. Salvador González Arroyo, MC. Pamela Ruiz Ponce, Lic. Imogene Samira Asa, Dra. Catalina Ruíz Domínguez y los profesionales de Sendas A.C., el Lic. Fabio Ramírez Ochoa y Heleodora Saldaña Ceballos. Este relato forma parte de las actividades de divulgación

científica del proyecto Mano Vuelta (Biodiversidad en la milpa: bases para la seguridad alimentaria de mujeres, adolescentes y niños rurales, financiado por el CONACYT (PRONAI SSYS, No. 319067).

## REFERENCIAS

- Brush SB and Perales HR (2007). A maize landscape: Ethnicity and agro-biodiversity in Chiapas Mexico. *Agric Ecosyst Environ* 1:211-221.
- Coto TD y Saunders JL (1987). Biología y comportamiento de las babosas en el laboratorio y su medio ambiente. *Ceiba* 28:180-192.
- Cruz-Esteban S, Rojas JC and Malo EA (2020). A pheromone lure for catching fall armyworm males (Lepidoptera: Noctuidae) in Mexico. *Acta zoológica mexicana*, 36. DOI: <https://doi.org/10.21829/azm.2020.3612271>.
- Cruz-Esteban S, Valencia-Botín AJ, Virgen A, Santiesteban A, Mérida-Torres NM and Rojas JC (2022). Performance and efficiency of trap designs baited with sex pheromone for monitoring *Spodoptera frugiperda* males in corn crops. *International Journal of Tropical Insect Science*, 42(1):715-722.
- Graziati (2022). ¿Las babosas son venenosas? <https://www.ecologiaverde.com/las-babosas-son-venenosas-3916.html> [consultado en agosto, 2022]
- Heath JJ, Williams RN and Phelan PL (2002). Aggregation and Male Attraction to Feeding Virgin Females in *Macrodactylus subspinosus* (F.) (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae). *Environ Entomol* 31:934-940. DOI: <https://doi.org/10.1603/0046-225X-31.6.934>.
- Lim J and Lee S (2013). Taxonomy of the family Bethyilidae (Hymenoptera: Chrysidoidea) from Cambodia and adjacent countries. I. Genus *Odontepyrus* Kieffer (Bethyilidae: Bethyilinae) with four new species and two new records. *Journal of Natural History* 47(31-32):2017-2038.
- Morón MA, Arce-Pérez R and Rojas-Gómez CV (2015). Frailecillos, chuchos y aguacucos. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/451-frailecillos-chuchos-y-aguacucos> [consultado en agosto, 2022]

**Samuel Cruz-Esteban**  
**Carlos A. Cultid-Medina**  
**Instituto de Ecología, A. C.**  
**Red de Diversidad Biológica del Occidente Mexicano**  
**CDMX, México**  
[samuel.cruz@inecol.mx](mailto:samuel.cruz@inecol.mx)  
[carlos.cultid@inecol.mx](mailto:carlos.cultid@inecol.mx)  
**Simoneta Negrete-Yankelevich**  
**Instituto de Ecología, A. C.**  
**Red de Ecología Funcional**  
**Xalapa, Veracruz**  
[simoneta.negrete@inecol.mx](mailto:simoneta.negrete@inecol.mx)



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2007.

# Los sistemas inmunes artificiales en la detección de ciberataques

David **Limón Cantú**  
Vicente **Alarcón Aquino**

La ciberseguridad es el área de estudio de problemas adversos en un contexto informático que afectan la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los recursos informáticos. Estos ataques se originan por medio de vulnerabilidades inherentes en los programas y sistemas computacionales (no existe programa ni sistema perfecto), y pueden ser errores de programación, configuración o diseño.

El ciberatacante es aquel individuo (o grupo) que busca obtener acceso a algún espacio cibernético (como una red de computadoras) sin los permisos ni la autoridad adecuados. Los ciberatacantes maliciosos que obtienen acceso a alguna red de computadoras pueden causar grandes daños, así como obtener información confidencial.

De forma general, los ciberatacantes siguen una serie de pasos básicos para ganar acceso a una red: reconocimiento o exploración y escaneo, aprovechamiento de vulnerabilidades, establecimiento de puntos de espionaje y obtención de resultados.

Los ciberatacantes usan una serie de herramientas que aprovechan vulnerabilidades en las redes y equipos identificados. De forma general, los ataques más populares se dividen en cuatro categorías:

1) Escalado de privilegios, suplantar y escalar privilegios otorgados a usuarios legítimos.

2) Ataques a la aplicación, aprovechan vulnerabilidades en los programas que dan soporte a los servicios accesibles desde una red de computadoras.

3) Negación de servicio, busca saturar las redes de comunicaciones enviando grandes cantidades de solicitudes a los equipos de cómputo en la organización atacada.

4) Ataques a los protocolos de comunicación para afectar o infiltrarse en equipos de cómputo aprovechando sus vulnerabilidades de comunicación de la red.

En la actualidad, la mayoría de las empresas, organizaciones gubernamentales, cuerpos militares y dispositivos de cómputo de uso cotidiano (como teléfonos celulares, cámaras de vigilancia, dispositivos de Internet de las cosas, etc.) hacen uso de redes de comunicaciones y del Internet. Algunas de las tendencias del uso de ciberataques son el secuestro de datos (conocido en inglés como *ransomware*), la negación de servicios importantes (como servicios gubernamentales), el sabotaje de servicios públicos (suministros de agua y electricidad) y los chantajes por obtención de datos privados.

## LOS SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INTRUSOS

Los sistemas de detección de intrusos (*Intrusion Detection System*, IDS, por sus siglas en inglés) son sistemas computacionales que tienen la finalidad de detectar anomalías por medio del análisis y monitoreo de procesos computacionales y de redes de comunicaciones. Un sistema computacional se compone de distintos elementos de *software* (programas) y *hardware* (equipo de cómputo), combinados para efectuar una o más funciones con una finalidad específica.

En el contexto de los ciberataques, el objetivo de un IDS es facilitar la toma de decisiones para su identificación, mitigación y análisis. Los IDS se pueden clasificar en dos grandes grupos: los IDS basados en redes de comunicaciones (o *Network IDS*, IDS, por sus siglas en inglés), y los IDS basados

en equipos de cómputo (*Host IDS*, HIDS, por sus siglas en inglés).

El objetivo de los NIDS es detectar anomalías a través de las comunicaciones en redes de computadoras. Los HIDS son sistemas que detectan anomalías por medio del análisis de distintos elementos presentes en el equipo de cómputo, como eventos del sistema operativo, sistemas de archivos, ejecución de procesos computacionales, entre otros.

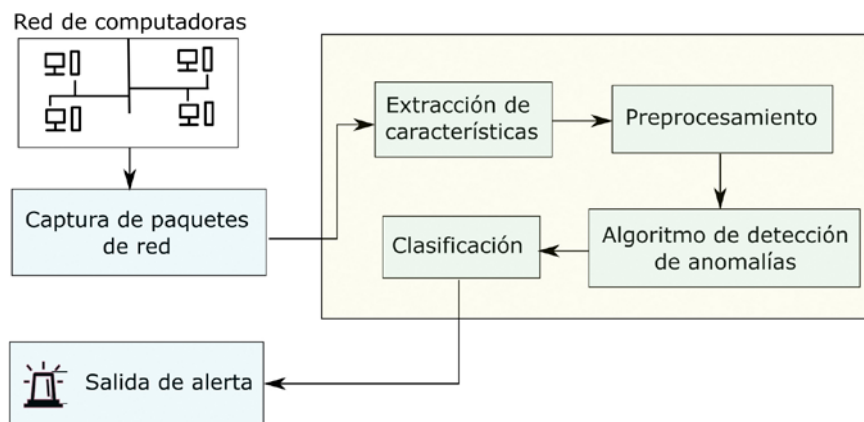
Adicionalmente, los IDS pueden identificar ciberataques por medio de dos enfoques: 1) por medio de firmas, el cual consiste en comparar el comportamiento observado (ya sea en las redes de comunicaciones o en eventos del equipo de cómputo) con patrones previamente identificados. 2) Con base en anomalías, en donde se busca encontrar comportamientos que difieran significativamente de patrones previamente identificados como normales. De forma general, un NIDS se compone de seis fases denominadas fase de captura de paquetes, fase de extracción de características, fase de preprocesamiento, fase de detección, fase de clasificación y fase de alerta, como se muestra en la Figura 1.

Los retos de los IDS consisten en desarrollar sistemas capaces de efectuar la detección de una manera eficiente, con capacidad de manejar grandes volúmenes de comunicaciones y de ejecutarse en sistemas computacionales con recursos limitados (ya sea energéticos o de capacidad de cómputo).

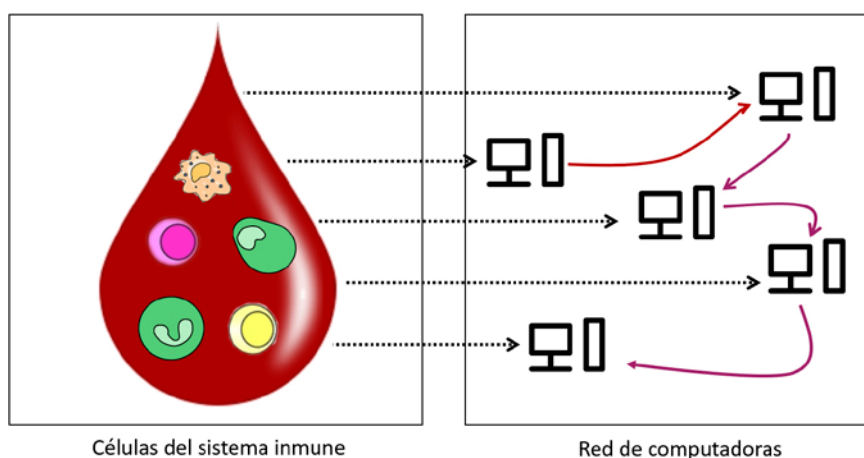
## LOS SISTEMAS INMUNES ARTIFICIALES

Los sistemas inmunes artificiales (*Artificial Immune Systems*, AIS, por sus siglas en inglés) son un conjunto de algoritmos (pertenecientes al área de algoritmos de aprendizaje automático) inspirados en el sistema inmune humano (*Human Immune System*, HIS, por sus siglas en inglés).

A diferencia de otros algoritmos inspirados en funciones biológicas o fisiológicas (como los algoritmos genéticos y las redes neuronales), la motivación para el desarrollo de los AIS reside en el deseo de imitar características importantes del HIS, como la adaptabilidad, la tolerancia a errores, la descentralización y la robustez.



**Figura 1.** Modelo genérico de un IDS (Dwivedi *et al.*, 2020). El flujo indicado por las flechas representa el orden de las fases que se ejecutan en un IDS. La mayoría de los IDS buscan dar una alerta de ataque al administrador de la red computacional.



**Figura 2.** Analogía entre el HIS y los AIS (Limon-Cantu y Alarcon-Aquino, 2021). Los modelos AIS imitan el comportamiento de células del sistema inmune innato y adaptativo. Los modelos computacionales se ejecutan en una o más computadoras, las cuales forman parte de una red de comunicaciones.

El sistema inmune humano se compone de un conjunto de órganos y células cuya finalidad es proteger a nuestro cuerpo contra enfermedades, infecciones y el mal funcionamiento de otras células. El HIS se compone de tres capas: la física, la innata y la adaptativa. Como primera línea de defensa, la capa física protege a la mayoría de los órganos de nuestro cuerpo contra sustancias foráneas (por ejemplo, toxinas, químicos, bacterias y virus). La capa física se compone de la piel y las membranas mucosas presentes en el tracto respiratorio, gastrointestinal y genitourinario. Cuando la primera capa de defensa es superada (por ejemplo, cuando nos cortamos o sufrimos una quemadura), las capas innata y adaptativa nos proporcionan la protección más importante en contra de microorganismos externos y dañinos. El sistema inmune innato incluye células (por ejemplo, células dendríticas) que son capaces de reconocer distintas amenazas, así como de presentar antígenos (patrones moleculares

provenientes de organismos externos) al sistema inmune adaptativo. Las células de este último (por ejemplo, los linfocitos T y B) proporcionan la capacidad de reconocer antígenos no vistos antes, así como de recordarlos para generar rápidamente una respuesta inmune en el próximo encuentro.

Podemos asociar al HIS con los IDS a través de la detección de anomalías. Las células del sistema inmune tienen la función exclusiva de proteger nuestro cuerpo por medio de un proceso colaborativo entre las distintas células del sistema innato y adaptativo, como se muestra en la Figura 2. Ambos sistemas (innato y adaptativo) son inspiración para la creación de IDS por medio de la aproximación al comportamiento de una o más células inmunes. En el caso de los IDS, el comportamiento de las células inmunes tiene la finalidad de observar las comunicaciones en una red de computadoras (ver Figura 2).

## ANTECEDENTES

El área de investigación de los AIS es un esfuerzo multidisciplinario que combina el estudio de inmunología, ciencias de la computación, estadística e ingeniería. Los AIS se han basado en principios de la inmunología como la selección negativa (Belhadj aissa *et al.*, 2020), las redes inmunes (Shi *et al.*, 2017), la selección clonal (Elshafie *et al.*, 2019), la teoría del peligro y el comportamiento de las células dendríticas (Farzadnia *et al.*, 2020; Limon-Cantu y Alarcon-Aquino, 2021, 2022).

Una de las contribuciones más recientes en el área de los AIS son los algoritmos basados en la teoría del peligro, la cual establece que la respuesta inmune se activa en gran medida por medio de señales de peligro emitidas por células dañadas. De manera similar, las células saludables producen señales de calma. Dichas señales son recolectadas por células presentadoras de antígenos, como las células dendríticas, y son usadas para incitar o suprimir la respuesta inmune adaptativa.

La contribución más significativa basada en la teoría del peligro (Greensmith y Aickelin, 2008) se basa en el estudio de las células dendríticas, y se conoce como el algoritmo de células dendríticas (*Dendritic Cell Algorithm*, DCA, por sus siglas en inglés). El DCA es un algoritmo basado en el mecanismo de recolección de señales de las células dendríticas (*Dendritic Cells*, DC, por sus siglas en inglés), donde un conjunto de DC puede reprimir o estimular la respuesta inmune, proporcionando la información necesaria a las células del sistema inmune adaptativo, para proliferar la creación de células especializadas (T y B) capaces de reconocer las amenazas actuales.

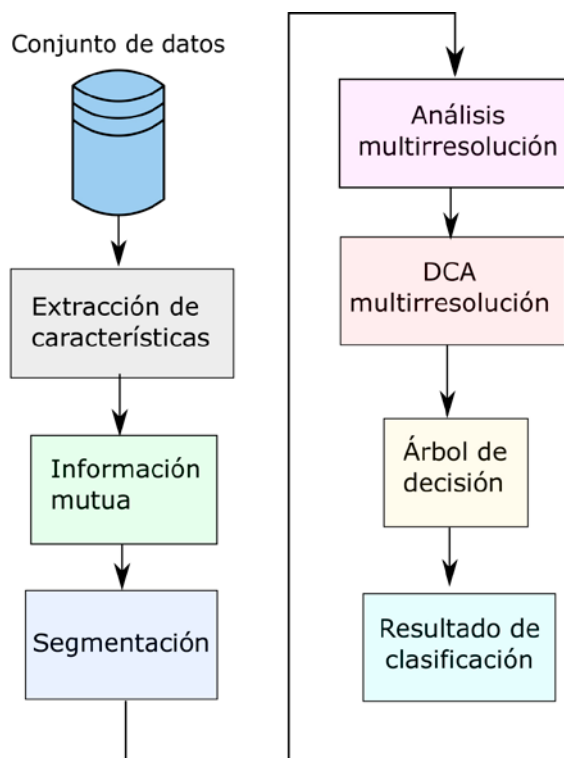
El algoritmo resultante se compone de una población de DC artificiales que simulan su proceso de recolección y maduración. Posteriormente, se lleva a cabo un consenso para determinar el estado de anomalía y (en el caso de la seguridad en redes de computadoras) poder determinar la presencia de ciberataques.

Actualmente, la investigación alrededor del DCA ha sido incorporada en el estudio de los IDS, y se centra en resolver tres problemas: la automatización de la fase de extracción y selección de características, la implementación de mejoras en las fases de detección y de clasificación. Los objetivos principales de las mejoras en el estado de la ciencia son la reducción en la complejidad computacional, la incorporación de mecanismos robustos de aprendizaje automático, y la demostración de la efectividad del algoritmo, analizando ciberataques contemporáneos en escenarios realistas.

## AVANCES EN EL ALGORITMO DE CÉLULAS DENDRÍTICAS

Este artículo analiza la implementación de dos modelos basados en el DCA. La importancia de dichos modelos ha sido la resolución de los tres problemas principales en el área. El primer modelo (Limon-Cantu y Alarcon-Aquino, 2022) se basó en la variación determinista del DCA y se propusieron algunas modificaciones. La primera fue la incorporación de un mecanismo automatizado para selección de características, basado en un proceso probabilístico conocido como información mutua. Este proceso analiza la entropía de las características obtenidas en la segunda fase del modelo general de un IDS (ver Figura 1), y ayuda a determinar si dichas características se pueden usar como analogías de las señales de peligro y señales de calma, establecidas en la teoría del peligro. Las señales seleccionadas para cada categoría se combinaron para generar nuevas características, y estas, a su vez, se usaron como entrada para el DCA determinista.

La segunda modificación del primer modelo fue la incorporación de un árbol de decisión como reemplazo de un umbral de clasificación, usado en la fase de clasificación del modelo general de un IDS (ver Figura 1). Los árboles de decisión permiten generar un conjunto de reglas jerárquicas en forma de decisiones lógicas. En el caso del modelo analizado, estas reglas permiten determinar la presencia o ausencia de ciberataques analizando la métrica de anomalía resultante del DCA en la fase



**Figura 3.** Fases de los modelos propuestos (Limon-Cantu y Alarcon-Aquino, 2021). Las fases de los modelos analizados son similares a las presentadas en la Figura 1. Las aportaciones se centran en las fases de selección de características (información mutua y segmentación), clasificación (análisis multirresolución), y clasificación (árbol de decisión). El resultado presentado indica si el dato analizado es un ataque o no.

de detección. Finalmente, este modelo fue evaluado y comparado usando conjuntos públicos de datos de ciberataques clásicos (conocido como NSL-KDD) y contemporáneos (conocido como UNSW-NB15), ambos publicados por el Instituto Canadiense de Ciberseguridad (CIC, por sus siglas en inglés).

El segundo modelo (Limon-Cantu y Alarcon-Aquino, 2021) tuvo la finalidad de mejorar la fase de detección en un IDS, y consistió en proponer modificaciones al algoritmo determinista del DCA, incorporando el análisis multirresolución como herramienta en la fase de preprocesamiento y en la fase de detección (ver Figura 3). El uso del análisis multirresolución permitió realizar un análisis en el espacio tiempo-frecuencia de las señales de peligro y las señales de calma generadas en la fase de extracción de características. Este modelo propone cuatro modificaciones. La primera consistió en la implementación de la transformada *wavelet* en el análisis multirresolución, con la cual se obtuvo una

descomposición de las señales de peligro y calma. Las señales descompuestas fueron usadas como entrada para el DCA modificado.

La segunda consistió en analizar las señales descompuestas, resultantes del análisis multirresolución, dentro de la fase de detección. La tercera modificación fue la incorporación del enfoque segmentado para el DCA (Gu *et al.*, 2013), que propone la idea de separar los datos analizados en segmentos de tamaño consistente para efectuar el proceso de detección y clasificación para cada segmento individual.

La segmentación fue incorporada en la fase de detección. Finalmente, se analizaron dos conjuntos de datos de ciberataques (NSL-KDD y UNSW-NB15), así como dos conjuntos de datos publicados en colaboración con el Establecimiento de Seguridad en Comunicaciones de Canadá (CSE, por sus siglas en inglés), abreviados como CIC-IDS2017 y CSE-CIC-IDS2018.

En general, los modelos analizados tienen cuatro limitaciones: la selección de los parámetros de las DC artificiales, la presencia y orden de los ataques en los conjuntos de datos analizados, la selección del tamaño de segmento, y la dificultad para realizar la clasificación usando datos no vistos. Estas limitaciones residen principalmente en la definición del DCA, ya que este fue modelado usando escenarios más simples en el área de los IDS. Actualmente, el DCA no cuenta con un mecanismo inherente de generalización, lo cual presenta un área de oportunidad para el desarrollo de versiones futuras. La Figura 3 muestra las fases de los modelos analizados.

## CONCLUSIONES

Debido a la creciente dependencia de las redes de comunicaciones en sistemas computacionales, la detección de ciberataques es de gran importancia para mantener la seguridad e integridad de dispositivos que contienen información sensible. El desarrollo de sistemas de detección de intrusos facilita la toma de decisiones y la detección temprana de amenazas y ataques maliciosos.



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2007.

Uno de los retos más importantes del desarrollo de los sistemas de detección de intrusos es la capacidad de adaptarse a las tendencias emergentes en el campo de los ciberataques.

La creación de algoritmos computacionales basados en el comportamiento del sistema inmune humano ha sido de gran interés en la detección de ciberataques. Los algoritmos de detección de intrusos, basados en la teoría del peligro, han establecido un cambio fundamental en el estudio y modelado del sistema inmune humano para la detección de ciberataques.

La contribución más significativa se conoce como el algoritmo de células dendríticas (DCA) basado en el estudio de la interacción de señales emitidas por las células del cuerpo humano. El objetivo de este artículo de divulgación es dar a conocer los avances en la resolución de tres problemas

principales en el desarrollo del DCA: la automatización de la extracción y selección de características, las mejoras en la fase de detección y las mejoras en la fase de clasificación. El primer modelo analizado se basó en la variación determinista del DCA. El segundo modelo analizado consistió en proponer modificaciones al algoritmo determinista del DCA, incorporando el análisis multirresolución.

Las limitaciones del último trabajo analizado residen principalmente en el estudio del algoritmo de células dendríticas, ya que no cuenta con un mecanismo inherente de clasificación en línea (aprendizaje en tiempo de ejecución), lo cual presenta un área de oportunidad para el desarrollo en versiones futuras.

## REFERENCIAS

Belhadj aissa N, Guerroumi M and Derhab A (2020). NSNAD: negative selection-based network anomaly detection approach with

relevant feature subset. *Neural Computing and Applications* 32(8): 3475-3501. <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04396-2>.

Dwivedi S, Vardhan M and Tripathi S (2020). Incorporating evolutionary computation for securing wireless network against cyber-threats. *The Journal of Supercomputing* 76(11):8691-8728. <https://doi.org/10.1007/s11227-020-03161-w>.

Elshafie HM, Mahmoud TM and Ali AA (2019). Improving the Performance of the Snort Intrusion Detection Using Clonal Selection. *2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)* 104-110. <https://doi.org/10.1109/ITCE.2019.8646601>.

Farzadnia E, Shirazi H and Nowroozi A (2020). A New Intrusion Detection System Using the Improved Dendritic Cell Algorithm. *The Computer Journal* 64(8):1193-1214. <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxaa140>.

Greensmith J and Aickelin U (2008). The Deterministic Dendritic Cell Algorithm. En PJ Bentley, D Lee y S Jung (Eds.), *Artificial Immune Systems* (pp. 291-302). Springer Berlin Heidelberg.

© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2012.



Gu F, Greensmith J and Aickelin U (2013). Theoretical formulation and analysis of the deterministic dendritic cell algorithm. *Biosystems* 111(2):127-135. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2013.01.001>.

Limon-Cantu D and Alarcon-Aquino V (2021). Multiresolution dendritic cell algorithm for network anomaly detection. *PeerJ Computer Science* 7:e749. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.749>.

Limon-Cantu D and Alarcon-Aquino V (2022). Network Intrusion Detection Using Dendritic Cells and Danger Theory. *Technology, Science and Culture: A Global Vision* 3(1):89. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99973>.

Shi Y, Peng X, Li R and Zhang Y (2017). Unsupervised Anomaly Detection for Network Flow Using Immune Network Based K-means Clustering. En B Zou, M Li, H Wang, X Song, W Xie y Z Lu (Eds.), *Data Science* (pp. 386-399). Springer Singapore.

## G L O S A R I O

**Recursos computacionales:** componente físico o informático (virtual) de un sistema computacional.

**Sistema computacional:** sistema que almacena y procesa información. Se compone de la parte física (hardware) y virtual (software).

**Redes de comunicaciones:** conjunto de elementos que se comunican entre sí a través de un medio físico en común.

**Sistema operativo:** programa que conecta y administra los componentes físicos y virtuales de una computadora.

**Sistema de archivos:** método por el cual un sistema operativo almacena y recupera información.

**Algoritmo:** conjunto finito de operaciones que resuelven un problema en específico.

**Aprendizaje automático:** conjunto de técnicas que permiten a las computadoras aprender a través de experiencia analizando datos.

**Complejidad computacional:** estudio de los recursos (tiempo y espacio) requeridos por los programas computacionales.

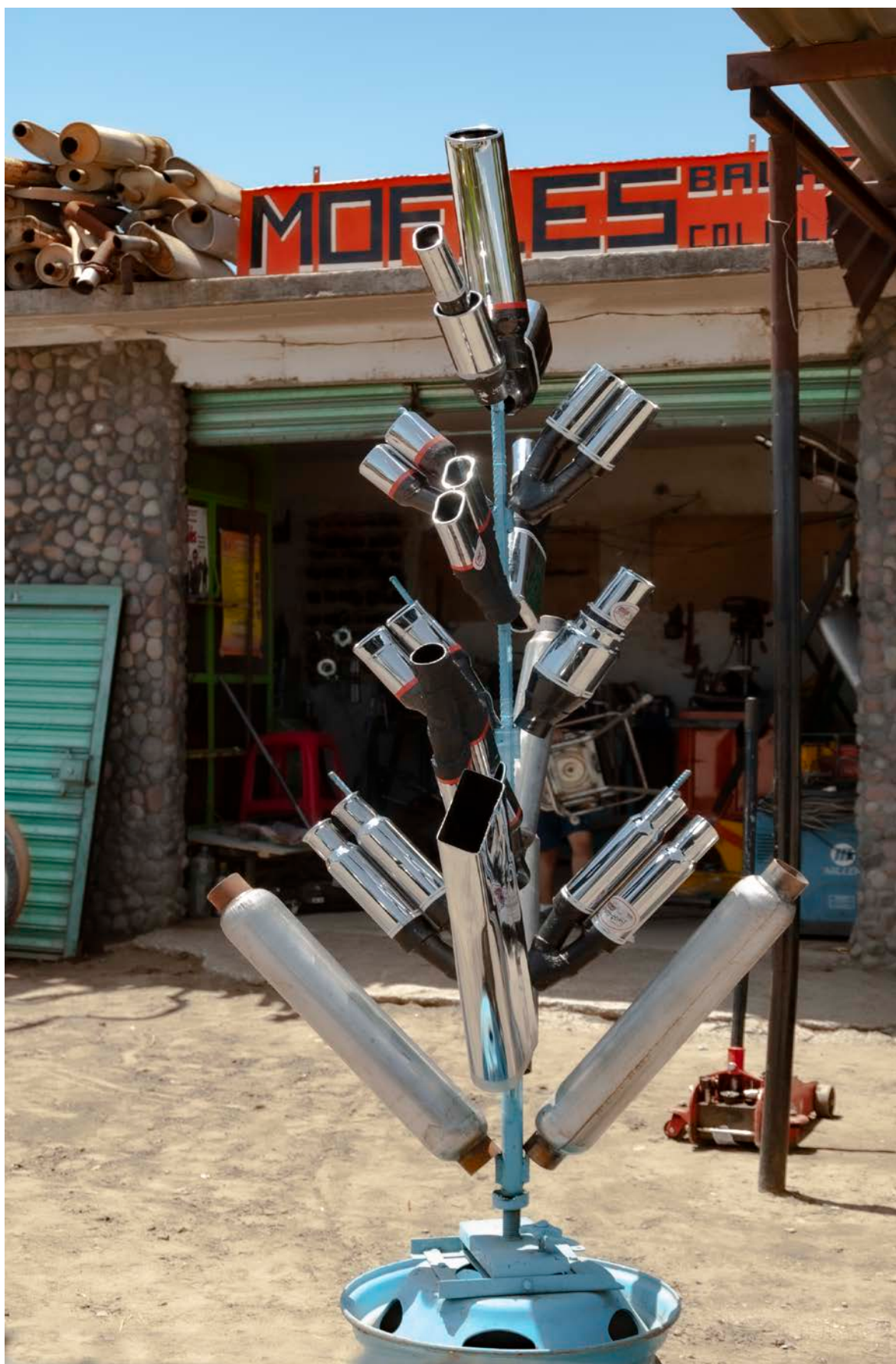
**Información mutua:** proceso que mide cuanto conocimiento se puede obtener de una variable con respecto a otra.

**Entropía:** concepto que cuantifica el estado de desorden o incertidumbre de un sistema.

**Análisis multirresolución:** proceso que descompone una señal en componentes cuya suma produce la señal original.

**Transformada wavelet:** herramienta matemática que analiza las características en la frecuencia de una señal en el tiempo, permitiendo cuantificar los diferentes componentes de frecuencia a través del tiempo.

**David Limón Cantú**  
**Vicente Alarcón Aquino**  
**Departamento de Computación**  
**Electrónica y Mecatrónica**  
**Universidad de las Américas Puebla**  
[vicente.alarcon@udlap.mx](mailto:vicente.alarcon@udlap.mx)



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2006.

# Mejorando la red neuronal convolucional para detectar objetos en imágenes infrarrojas

Daniel **Treviño Sánchez**  
Vicente **Alarcón Aquino**

Desde que se propusieron por primera vez las redes neuronales convolucionales (*Convolutional Neural Network*, CNN, por sus siglas en inglés) se ha creado un gran número de aplicaciones para el análisis y procesamiento de las imágenes, como la detección de objetos en tiempo real. También se han realizado muchas investigaciones para aumentar la precisión y reducir el tiempo de ejecución de las CNN. Sin embargo, para mejorar el desempeño de las CNN es primordial poder extraer las características clave. Es por eso que identificar y extraer rasgos distintivos sigue siendo un campo abierto para la investigación. Inicialmente, para poder identificar los elementos más relevantes, es necesario conocer y analizar el tipo de imagen que se va a trabajar como, por ejemplo, las imágenes infrarrojas (IR).

## RAYOS INFRARROJOS

La visión del ojo humano está limitada a lo que llamamos luz visible, una pequeña fracción del espectro de ondas que ronda el 1 % y se encuentra ubicada entre los rayos ultravioleta (UV) y los infrarrojos (IR). Ninguno de los dos es visible por el ojo humano, pero los segundos pueden ser percibidos como calor, aunque abarcan un rango mucho

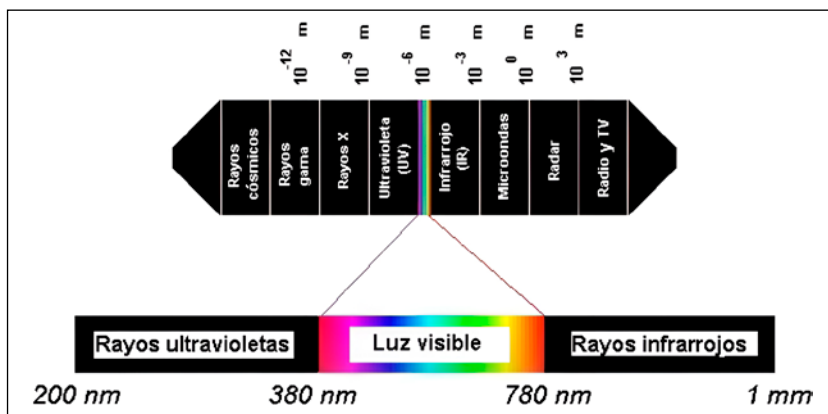
más amplio, como se aprecia en la Figura 1. Su nombre proviene de la palabra latina *infra*, que significa debajo, ya que la banda IR está ubicada inmediatamente debajo de la banda de la luz roja.

Todos los objetos emiten rayos IR a temperaturas superiores al cero absoluto, es decir a  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y la cantidad de radiación aumenta con la temperatura

(Larkin, 2018). La radiación IR se puede percibir utilizando cámaras especiales que convierten las variaciones térmicas a lo largo de los objetos, tomando el fondo de la escena como referencia, en una imagen visual. Este proceso se llama termografía y permite realizar mediciones de la temperatura de un objeto sin ningún contacto físico. El mayor uso para estas cámaras es la vigilancia; por ejemplo, la cámara diurna y nocturna puede usar tanto luz visible como con rayos IR. Este dispositivo produce un video a color durante el día y uno en escala de grises durante la noche, incluso en completa oscuridad. Sin embargo, la capacidad de ver tanto con la luz del día como en completa oscuridad no es la única ventaja de la tecnología IR. Adicionalmente, puede encontrar objetos escondidos en la niebla o debajo de un camino que podrían ser un riesgo, incluso puede ver a través de ciertos materiales, como el plástico o la tela, que la luz visible no puede.

#### DIFERENCIAS ENTRE LA VISIÓN IR Y LA VISIÓN NOCTURNA

Es importante diferenciar entre la visión IR y la visión nocturna, ya que no funcionan de la misma manera y por lo tanto no presentan las mismas ventajas. En primer lugar, la visión nocturna recolecta la poca cantidad de luz disponible y la amplifica para que pueda ser percibida por el ojo humano. Esto es



**Figura 1.** La luz visible dentro del espectro electromagnético. Todas las medidas están en nanómetros (metros  $\times 10^{-9}$ ) (Larkin, 2018).

posible debido al hecho de que la luz está formada de pequeños paquetes de energía llamados fotones, que están presentes aun durante la noche, aunque en menor medida. Sin embargo, puede haber situaciones de total oscuridad en que falten dichos paquetes lumínicos o sean muy pocos; en estos casos, la visión nocturna resulta inútil. Contrariamente, la tecnología IR se basa en ondas térmicas emitidas por los objetos cuando disipan el calor. La diferencia de temperatura entre los diversos objetos proporciona el contraste para identificarlos. En otras palabras, los objetos emiten su propia luz IR en cantidades que varían según la cantidad de calor que tenga el cuerpo. Por lo tanto, los lentes IR se pueden usar en total oscuridad. Otra ventaja de la visión IR sobre la nocturna es que la primera puede percibir objetos parcial o totalmente ocultos (camuflajeados), ya que no depende de sus similitudes en forma o textura con el medio ambiente, sino de las diferencias térmicas que los contrastan. Por ejemplo, una persona escondida dentro de una caja de cartón o detrás de unos arbustos puede ser difícil de ver aun con visión nocturna. Sin embargo, la tecnología IR ve claramente su firma de calor que atraviesa el material de cobertura. La profundidad con la que el IR puede ver el material depende de la sensibilidad de la unidad.

Finalmente, la visión IR puede detectar objetivos cálidos a grandes distancias. Una visión térmica de última generación puede detectar animales de sangre caliente en un campo a más de 1,000 metros

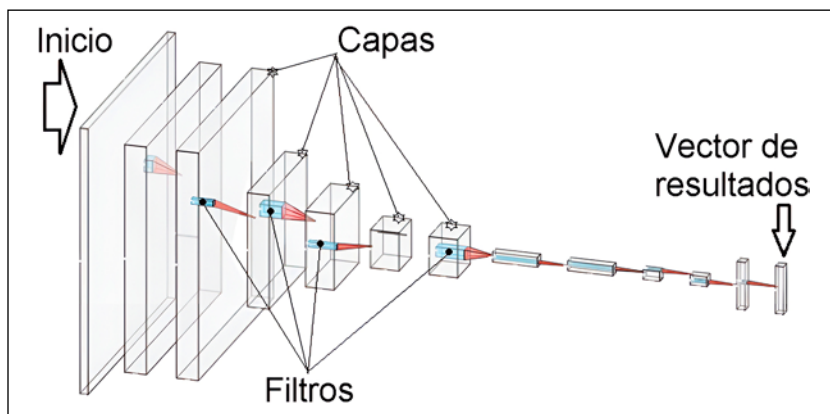


Figura 2. Ejemplo de una red neuronal convolucional.

de distancia (Coffey, 2011), aunque a esa distancia no es posible saber si se trata de un ciervo, una vaca o un cerdo. Sin embargo, al percibir la presencia y ubicación de dichos objetos, basta con acercarse un poco para confirmar el objetivo. Existen diversos tipos de tecnología óptico-térmica, pero entre mayor sea su calidad y sensibilidad, mayor será también su costo.

#### REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES

Las CNN es un método muy usado para la detección de patrones que existe hace más de 50 años. Sin embargo, en años recientes se han hecho desarrollos importantes en el área y se han convertido en una de las herramientas más importantes en reconocimiento de imágenes, clasificación y localización de objetos.

Para diseñar una CNN es importante considerar el número de parámetros y operaciones matemáticas requeridas en cada capa, así como saber su operación en detalle. El proceso de clasificación de la CNN emplea una imagen como entrada, luego la etiqueta bajo una categoría predefinida (automóvil, persona, perro, tigre, etc.), como se muestra en la Figura 2. La imagen de entrada es una matriz de valores, cada uno representa un pixel. Dependiendo de las dimensiones de la imagen, serían alto (h) x ancho (w) x canales (c). Por ejemplo, una imagen con un arreglo  $7 \times 7 \times 3$  sería una imagen a color en formato RGB (combinación de colores rojo,

verde y azul) y una imagen con un arreglo  $7 \times 7 \times 1$  sería una imagen en escala de grises.

Antes de poder usar el potencial de una red neuronal, esta debe de ser entrenada para que aprenda a hacer lo que se desea de ella. Para ello es necesario contar con una base de datos (o imágenes) previamente etiquetados que le permitirán optimizar sus

parámetros, hasta lograr que su salida iguale el valor de las etiquetas. Dentro de la red convolucional existen diferentes tipos de capas; la más conocida es la convolución, que es precisamente la que le da nombre a la red. La función de esta capa es extraer características de la información de entrada. Para ello utiliza diferentes filtros según las características que se desee extraer. Estos filtros son una serie de matrices cuadradas de diferentes tamaños que actualizan sus valores durante la etapa de entrenamiento. Un solo filtro multiplica cada elemento de una región de la imagen y los suma para formar un elemento de salida; para obtener todos los elementos de salida el filtro se desliza por toda la imagen, como se muestra en la Figura 3. El resultado de tales operaciones se conoce como “mapa de características”. En las primeras capas de la red, la diversidad de filtros permite operaciones que detectan bordes, colores o esquinas, mientras que en las capas intermedias se encuentran patrones o se detectan características específicas. El segundo tipo de capa más usada es la de pooling, y se utiliza para reducir las dimensiones de los datos de entrada. Este método resume una región completa a un solo valor mediante una selección o un cálculo estadístico. Los métodos de pooling más conocidos son el pooling máximo y el pooling promedio. El entrenamiento de la red se realiza una vez que esta se ha armado y conectado correctamente, y la base de

datos se ha revisado y etiquetado adecuadamente. Como se mencionó anteriormente, el propósito de este proceso es encontrar los valores óptimos de todos los parámetros o filtros dentro de la red para producir las salidas deseadas al alimentarlo con datos similares a los del entrenamiento, pero que analiza por primera vez. Todos los

patrones clave se aprenden durante esta etapa, y cada parámetro se modifica muchas veces hasta encontrar su valor óptimo. Cuantos más patrones relevantes identifique y extraiga la red, mayor será su precisión para detectar e identificar objetos.

#### ANÁLISIS MULTIRRESOLUCIÓN

Uno de los principales beneficios del análisis multirresolución (*Multi-resolution Analysis*, MRA, por sus siglas en inglés) es que no pierde ninguna información al momento de descomponer los datos. Estos quedan contenidos en cuatro bloques llamados coeficientes. En el caso de las imágenes, el bloque principal contiene la mayor parte de la información, incluyendo la estructura y algunos patrones. Los otros tres contienen los detalles en horizontal, vertical y diagonal. Dependiendo de la ondita (wavelet) que se utilice, se pueden resaltar características específicas de la imagen, facilitando el trabajo de la red convolucional. En este sentido, existe un análisis multirresolución de segunda generación llamado esquema de elevación o *lifting scheme* (Sweldens, 1998), que se realiza mediante bloques de procesamiento. Estos bloques pueden integrarse como capas de operaciones matemáticas dentro de la red convolucional. Esta técnica de MRA preserva la información de frecuencia y espacio al reducir la dimensionalidad sin ninguna pérdida, incluso si solo se utilizan los coeficientes de aproximación.

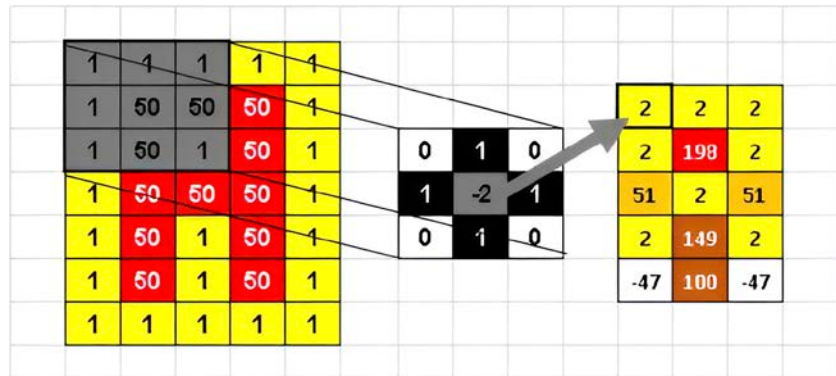
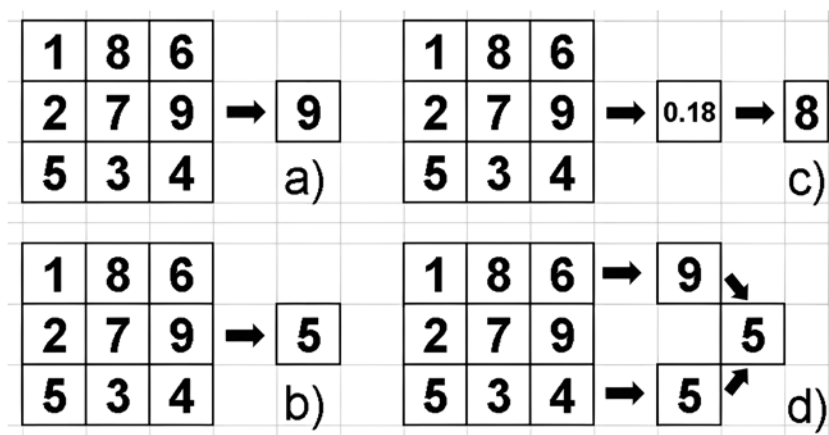


Figura 3. Ejemplo de una capa convolucional con su núcleo o kernel.

Estos coeficientes contienen la mayor parte de la información de energía y estructura de la imagen, que es la más parecida a la imagen original. Al hacer esto se pueden extraer características relevantes de las imágenes que permiten mejorar el desempeño de la CNN.

#### LIMITACIONES DE LAS IMÁGENES INFRARROJAS

A pesar de las bondades de los rayos IR sobre la luz visible, e incluso sobre la visión nocturna, las imágenes IR presentan algunos retos para poder manejar su contenido. En general, este tipo de imagen es muy susceptible al ruido térmico. Además, estas imágenes requieren que se acentúen los bordes y se aumente el contraste para que los objetos puedan reconocerse con mayor facilidad; por todo lo anterior se requieren varios filtros para ajustar la imagen. Por otro lado, a diferencia de una imagen de luz visible, que presenta tres canales para formar el color (rojo, verde y azul), las imágenes IR solo cuentan con un canal de escala de grises. Finalmente, el reto más grande es que las imágenes IR no cuentan con texturas o patrones que se puedan usar para reconocer los objetos. Las superficies de cada objeto radian según su temperatura, pero la imagen IR se forma con las diferencias térmicas que existen entre los objetos y el fondo. Una misma superficie puede tener diferentes valores térmicos en distintos puntos; por ejemplo, el patrón de temperaturas de un auto es muy distinto cuando está en reposo con el motor apagado que



**Figura 4.** Ejemplos de cuatro tipos de poleo, a) poleo máximo, b) poleo promedio, c) poleo estocástico y d) poleo mixto.

cuando está en operación. Esto último no ayuda en la obtención de características de un objeto, pero sí da otro tipo de información sobre su estado. Para resolver este reto se requieren múltiples pasos orientados a acondicionar las imágenes IR, entre ellos el filtrado, el aumento de contraste y el resaltado de bordes.

#### POLEOS CONVENCIONALES

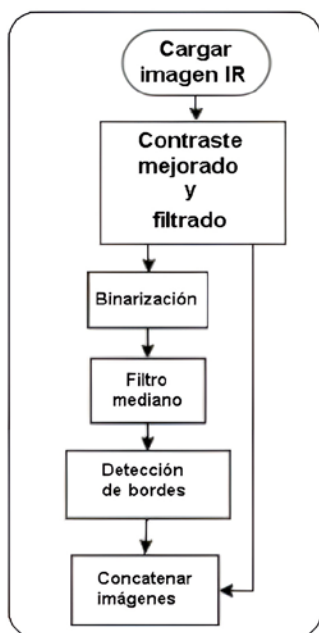
Las capas de poleo convencional más usadas son la de poleo máximo y poleo promedio (Lee *et al.*, 2018); en ambas capas se reduce toda una región a un solo valor. En el caso del poleo máximo, como su nombre lo indica, toma el valor más grande de todos los que forman la región y los demás valores se eliminan. Aunque con el poleo máximo se pierde información, la salida aún logra mantener algunos detalles de frecuencia, dependiendo del comportamiento de la señal de entrada. Este fenómeno permite que la CNN mejore la precisión, razón por la cual el poleo máximo fue seleccionado para este estudio sobre otros métodos convencionales. En el caso del poleo promedio, se pierde información relevante debido a que actúa como un filtro pasa-bajas, generalizando las características al obtener su valor medio de toda la región. Como se ve en la Figura 4a y 4b, respectivamente. Aunque existen otras técnicas de poleo más complejas, en general, después de seleccionar un valor para cada

región, los demás se eliminan. Por ejemplo, el poleo estocástico (Zeiler y Fergus, 2013) que toma el valor probabilístico de cada elemento de la región para seleccionar el valor de salida. Las probabilidades se calculan con base en la magnitud de cada elemento, siendo la unidad el valor sumado de todas las probabilidades de una región. Así, los valores más grandes tienen mayor probabi-

lidad de ser seleccionados que los valores pequeños; sin embargo, estos aún pueden ser escogidos de vez en cuando.

Otro método aleatorio menos complicado es el poleo mixto (Yu *et al.*, 2014); este simplemente toma el valor máximo y el valor promedio para seleccionar uno solo. El proceso funciona asignando una probabilidad del 50 % a los dos valores, y como si se lanzara una moneda al aire, se selecciona al ganador, como se puede ver en la Figura 4c y 4d, respectivamente. Los diferentes tipos de poleo seleccionan un valor que represente toda una región y simplemente borran toda la demás información. Esto no garantiza en ningún caso que se seleccione el mejor valor o el valor más adecuado para que la red aprenda las características esenciales o los patrones más útiles.

Por otro lado, la razón de que estos métodos sean tan usados es porque, al ser simples, facilitan el procesamiento en la red. Además, algunos de estos métodos son muy efectivos para prevenir el sobre-entrenamiento (*overfitting*) debido a su comportamiento no lineal, pero el resultado final depende totalmente del desempeño del resto de las capas. Por estas razones, son métodos que se pueden mejorar, pero a la vez tienen elementos que se pueden seguir aprovechando en los nuevos modelos.



**Figura 5.** Preprocesamiento propuesto para mejorar la calidad de las imágenes IR y facilitar su uso por la CNN.

## ANTECEDENTES

Existen algunos modelos que combinan el MRA con la CNN, como el trabajo de Bastidas-Rodríguez y colaboradores (2020), que utilizan un esquema de elevación adaptable que aprende la configuración de las onditas incorporando una pequeña CNN como parte de sus bloques internos. Luego, este modelo se integra en una CNN más grande para detectar escenas y clasificar texturas. Otros enfoques (como Williams y Li, 2016) también detectan escenas y clasifican dígitos escritos a mano, pero en lugar de combinar ambas técnicas en un solo marco de trabajo, usan los coeficientes de la transformada ondita discreta (*Discrete Wavelet Transform*, DWT, por sus siglas en inglés) como entradas para múltiples CNN. Reemplazar la capa de poleo es la práctica más común al usar onditas dentro de la CNN (como en Ferrá *et al.*, 2019 y Williams y Li, 2018). Estos estudios la utilizan para restaurar imágenes o detectar tumores en el pulmón, entre otras aplicaciones.

Sin embargo, aunque estos últimos modelos presentan un avance con el uso del MRA en el interior

de la CNN, ninguno toma en cuenta las ventajas de los poleos convencionales. Incluso en los resultados obtenidos por Ferrá y colaboradores (2019) se ve que el poleo máximo tiene los mejores resultados. En este sentido, un modelo híbrido que combine las propiedades y ventajas del modelo convencional y del MRA podría tener mejores resultados.

## MODELO PROPUESTO

El modelo propuesto por nosotros (Treviño y Alarcón, 2022) es un método de poleo y utiliza dos etapas de procesamiento. En la primera etapa del modelo se realiza un preprocesamiento para mejorar la calidad de las imágenes IR, como se muestra en la Figura 5.

Uno de los primeros retos de este tipo de imágenes es que tienen mucho ruido producto del sentido térmico, además de que suelen ser un poco difusas. Por esta razón, se mejoró la imagen usando una transformada discreta de onditas mediante la cual se aumenta el valor de los detalles para darle más definición y claridad a la misma, además de un filtro con un umbral de ruido para eliminar el ruido inicial. El resultado de estos bloques forma el primer canal de la imagen final. El siguiente bloque produce una imagen binaria que busca resaltar los contornos y los bordes para formar el segundo canal. El tercer canal puede o no existir. En caso de que se desee utilizar, sería la imagen original sin ningún procesamiento. Adicionalmente, se usa una versión simplificada de la CNN para detectar objetos en imágenes IR, lo cual requiere de menos conexiones, capas, operaciones matemáticas y tiempo. Esta CNN cuenta con cuatro capas de convolución, dos de poleo y una de clasificación, además de usar la unidad lineal rectificadora con fuga, como función de activación.

Por otro lado, se implementó el esquema de elevación como una capa embebida más dentro de la CNN configurada para tres onditas llamadas en honor de sus creadores Haar, Daubechies 4 y Daubechies 6. Cada una con características únicas para extraer características específicas de las imágenes, como se muestra en la Figura 6. De esta

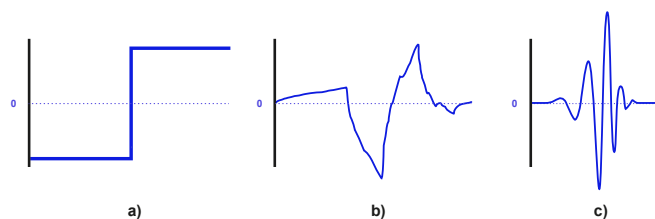


Figura 6. Ejemplos de tres onditas, a) Haar, b) Daubechies 4 y c) Daubechies 6.

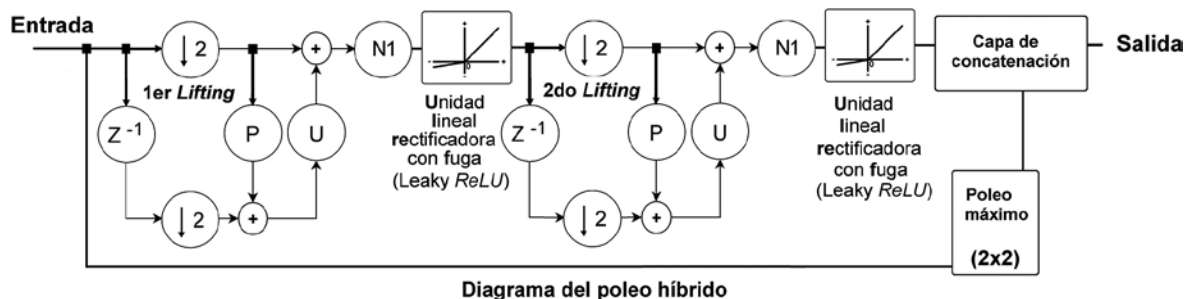


Figura 7. Modelo híbrido propuesto para mejorar la precisión de la CNN.

manera, el modelo híbrido no solo se ha probado con los diferentes poleos convencionales (máximo, mixto, promedio y estocástico), sino con tres onditas (*wavelets*) diferentes. Inicialmente, el modelo de poleo híbrido que combina el método de poleo máximo con la onditas Haar ha mejorado la precisión de la CNN. Otra ventaja del modelo híbrido es que solo requiere los coeficientes de aproximación del bloque de MRA.

Este modelo incorpora en paralelo tanto la técnica del poleo máximo como la del esquema de elevación en 2D para la onditas Haar, como se muestra en la Figura 7. Dado que el modelo está integrado dentro de la CNN, todos sus bloques también son capas de red. El modelo se construye incorporando el proceso de reducción de muestreo ( $\downarrow 2$ ) y los valores de los parámetros P, U y N1. Sin embargo, solo las salidas de las aproximaciones están conectadas al siguiente bloque, que es una unidad lineal rectificadora con fuga. Esta capa es una función de activación que mantiene la salida igual a la entrada para los valores positivos y los negativos normalmente los elimina, pero en la configuración con fuga solo los reduce para no darles mucha importancia y, a la vez, evitar que se pierdan. Al mismo tiempo, el bloque de poleo máximo

realiza una reducción de muestreo con una región de poleo de  $2 \times 2$ , paso de  $2 \times 2$  sin relleno. Como último paso, la salida producida por el esquema de elevación (que pasa a través de una segunda unidad lineal rectificadora con fuga) y la salida generada por el poleo máximo, se unen mediante una capa de concatenación. La capa de concatenación se usa con frecuencia en las CNN para unir dos o más bloques de información en uno. En este caso, la capa vincula ambos mapas de características para enriquecer el proceso de poleo a pesar de la inherente reducción del proceso. Finalmente, se probaron cuatro poleos convencionales y diversas combinaciones de modelos usando MRA; sin embargo, el modelo con los mejores resultados, como se esperaba, fue el modelo híbrido que usa el poleo máximo en paralelo con el esquema de elevación.

## CONCLUSIONES

La CNN es una técnica muy útil para extraer características y clasificar objetos. La precisión con la que actúan estos sistemas es esencial en cualquier aplicación. Por otro lado, a pesar de su uso

| Método de Poleo                        | Precisión     |
|----------------------------------------|---------------|
| Poleo promedio                         | 98.7 %        |
| Poleo máximo                           | 99.0 %        |
| Poleo mixto                            | 97.9 %        |
| Poleo estocástico                      | 98.4 %        |
| Modelo híbrido:<br>ondita Haar         | <b>99.4 %</b> |
| Modelo híbrido:<br>ondita Daubechies 4 | <b>99.4 %</b> |
| Modelo híbrido:<br>ondita Daubechies 6 | 99.2 %        |

**Tabla 1.** Resultados de los diferentes métodos de poleo

tan generalizado y de la cantidad de aplicaciones desarrolladas, sigue siendo importante lograr un buen desempeño, en especial cuando se usan imágenes con bases de datos limitadas o de difícil acceso para el entrenamiento de las redes, como en el caso de las imágenes IR. Para contribuir a la solución de este problema se propuso mejorar el área de mayor pérdida de información dentro de la CNN. El proceso de reducción del tamaño de la información mientras se extraen características es necesario para que la CNN puede funcionar eficientemente, pero también se sabe que es en las capas de poleo donde se pierden muchos de estos rasgos. Por ello, se incorporó un método que, a diferencia de los poleos convencionales que retienen un valor convencional (valor máximo o promedio), el MRA mantiene las partes esenciales de la información. Estas partes son los cuatro coeficientes. En nuestro caso, solo usamos el coeficiente en que se mantiene la mayor parte de la información. Creemos que para implementar este proceso dentro de la CNN, es necesario un tipo de análisis conocido como el esquema de elevación que puede incorporarse en la arquitectura de la red como una capa más, sustituyendo a las capas de poleo. Los resultados presentados en la Tabla 1 indican la precisión de

la red convolucional clasificando objetos utilizando únicamente como poleo las capas indicadas como método de poleo. Por ejemplo, en el caso del poleo promedio la precisión es de 98.7 %, esto quiere decir que de cada 1,000 objetos introducidos a la red convolucional con esa configuración se clasificaron correctamente 987, mientras que 13 objetos fueron mal clasificados o no pudieron identificarse en ninguna de las categorías utilizadas. Al remplazar cada capa de poleo con un modelo híbrido, como el mostrado en la Figura 7.

La red convolucional presentó un aumento en comparación con los cuatro métodos de poleo convencional. Por ejemplo, entre el modelo híbrido con Haar y el poleo mixto hay una diferencia de 1.5 %, mientras que con el poleo estocástico la diferencia es de 1 %.

Finalmente, también el caso del poleo máximo existe una diferencia, aunque menor, de 0.4 %. También se probaron diversos métodos híbridos con menores resultados, uno de los cuales utilizó el método mixto y su diferencia fue de 2 %. A pesar de que la CNN existe desde hace varias décadas, su uso se hizo posible recientemente gracias al desarrollo del *hardware*. Sin embargo, hablamos de un área que aún tiene muchos temas por investigar, su uso es empírico en cuanto a su diseño (número de neuronas y capas), o simplemente se usa una red ya probada (GoogleNet, VGG, etc.). En cuanto a su aprendizaje, el sobre-entrenamiento sigue siendo un problema porque la red memoriza en lugar de aprender, y aunque hay técnicas no lineales muy efectivas para atacar este inconveniente, aún se requieren respuestas matemáticamente formales.

## R E F E R E N C I A S

- Bastidas M, Gruson A, Polanía L, Fujieda S, Prieto F, Takayama K and Hachisuka T (2020). Deep Adaptive Wavelet Network. *Winter Conference on Applications of Computer Vision 2020*:3100-3108.
- Coffey V (2011). Seeing in the Dark: Defense Applications of IR imaging. *Optics and Photonics News* 22:26-31.
- Ferrá A, Aguilar E and Radeva P (2019). Multiple Wavelet Pooling for CNNs. *Lecture Notes in Computer Science* 11132:671-675.
- Larkin P (2018). *IR and Raman Spectroscopy, principles and spectral interpretation*. Holanda: Ámsterdam.



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2010.

Lee C, Gallagher P and Tu Z (2018). Generalizing pooling functions in convolutional neural networks: Mixed, gated, and tree. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 40:863-875.

Sweldens W (1998). The lifting scheme: A Construction of Second Generation Wavelets. *Siam Journal on Mathematical Analysis* 29:511-546.

Treviño D and Alarcón V (2022). Hybrid Pooling with Wavelets for Convolutional Neural Networks. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 42:4327-4336.

Williams T and Li R (2016). Advanced Image Classification using Wavelets and Convolutional Neural Networks. *15th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications* 2016:233-239.

Williams T and Li R (2018). Wavelet Pooling for Convolutional Neural Networks. *6th International Conference on Learning Representations*. Canadá: Vancouver.

Yu D, Wang H, Chen P and Wei Z (2014). Mixed Pooling for Convolutional Neural Networks. *Lecture Notes in Computer Science* 8818:364-375.

Zeiler M and Fergus R (2013). Stochastic pooling for regularization of Deep convolutional neural networks. *1st International Conference on Learning Representations*. E.E.U.U.: Scottsdale

## G L O S A R I O

**Análisis multirresolución (Multi-resolution Analysis, MRA).** Se realiza aproximando una función  $f(t)$  en distintos niveles de resolución, para producir una descomposición multi-escala.

**Eficiencia.** Lograr cumplir adecuadamente una tarea o función.

**Esquema de elevación (Lifting Scheme).** Es un análisis multirresolución de segunda generación. Es una transformada discreta de onditas (wavelet) que está configurada en bloques dependiendo de la función de ondita que se utilice. Los bloques usan operaciones matemáticas simples para lograr descomponer o reconstruir imágenes en sus componentes básicos llamados coeficientes.

**Hardware.** Son los elementos físicos de una computadora, tanto internos como externos.

**Ondita (Wavelet).** Es una forma de onda o breve oscilación, que aumenta o disminuye, y que tiene una duración limitada y un valor promedio de cero.

**Poleo.** Es un componente básico en una CNN que consolida las características aprendidas. Se usa para reducir la dimensionalidad de los datos, así como de parámetros requeridos por la CNN.

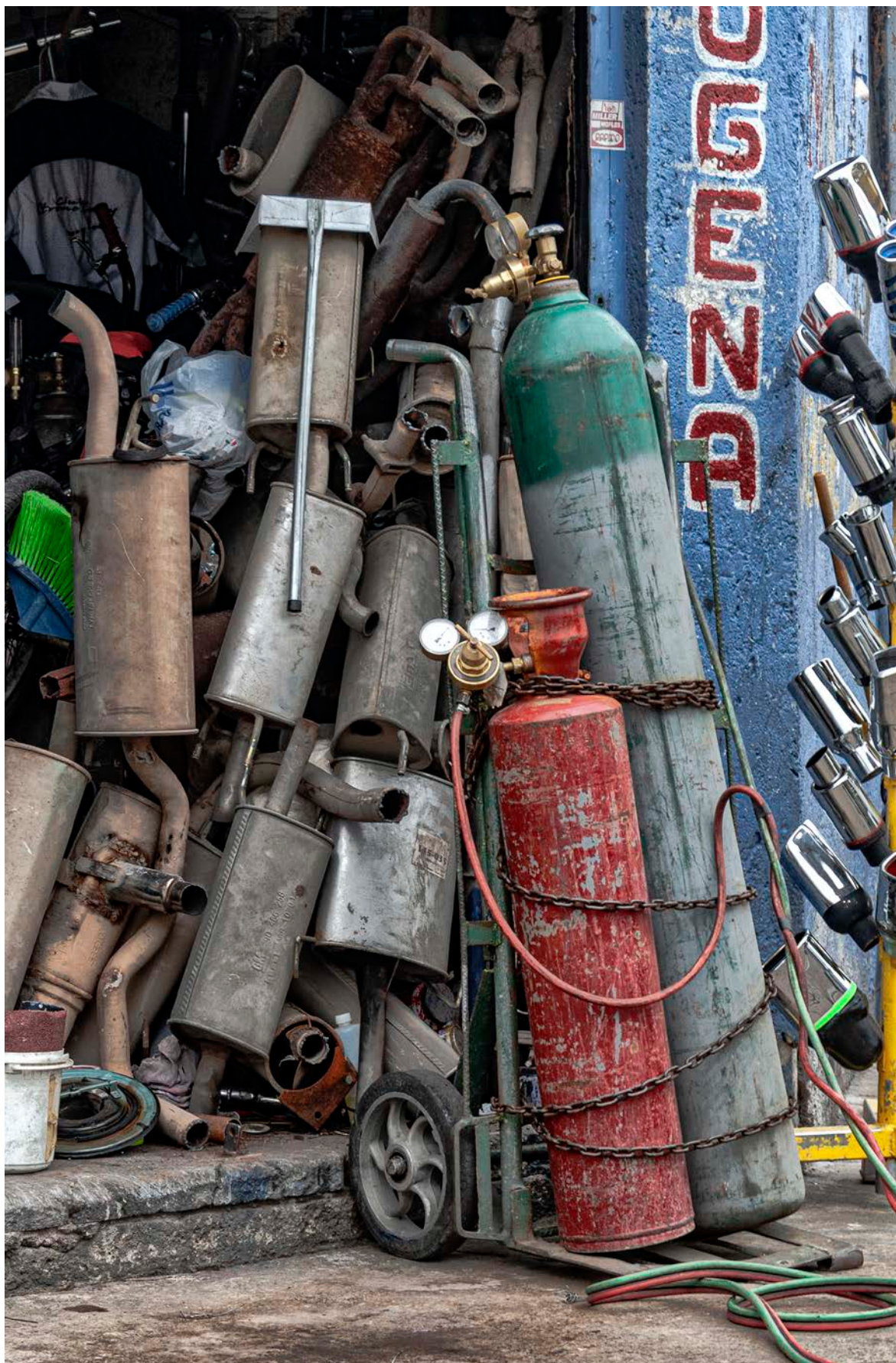
**Precisión.** La precisión se refiere a la cercanía de los valores obtenidos aplicando los mismos parámetros.

**Red neuronal convolucional (Convolutional Neural Network, CNN).** Es una arquitectura de red que aprende directamente de los datos. Sus neuronas son nodos que realizan operaciones matemáticas simples para actualizar sus variables llamadas pesos, con los que logran identificar patrones que la red pueda usar para reconocer objetos en una imagen.

**Sobreentrenamiento (Overfitting).** Es un comportamiento no deseado en el aprendizaje automático. Durante el entrenamiento el sistema empieza a memorizar los datos aparentando mejorar su desempeño; sin embargo, su desempeño es deficiente cuando se utilizan datos nuevos.

**Transformada discreta de onditas (Discrete Wavelet Transform, DWT).** Es una transformada que utiliza onditas muestreadas discretamente. Tiene la ventaja que su resolución es temporal, es decir que muestra tanto la frecuencia como su ubicación en el tiempo.

**Daniel Treviño Sánchez**  
**Vicente Alarcón Aquino**  
**Universidad de las Américas Puebla**  
**Departamento de Computación**  
**Electrónica y Mecatrónica**  
**[vicente.alarcon@udlap.mx](mailto:vicente.alarcon@udlap.mx)**



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2006

# ¿De qué manera es posible discernir qué tan cuántico es un sistema bipartito?

José R. **Castro San Agustín**  
Manuel **Ávila Aoki**

Un sistema físico bipartito es aquel que contiene dos subsistemas físicos únicamente determinados. Las correlaciones en un sistema bipartito son cruciales para determinar si este está en el dominio clásico o bien en el dominio cuántico (Horodecki *et al.*, 2009; Modi *et al.*, 2012). En el dominio clásico, las correlaciones clásicas estarán relacionadas indirectamente con cantidades físicas tales como momento lineal, momento angular y energía mecánica (Goldstein, 1987). Por otra parte, las correlaciones cuánticas estarán relacionadas indirectamente con cantidades físicas no clásicas, tales como momento angular de espín, isospín, energía interna cuántica (Sakurai, 2020).

Dos de las más importantes correlaciones cuánticas que se conocen son el entrelazamiento cuántico (Horodecki *et al.*, 2009) y la así llamada discordia cuántica (Ávila Aoki, 2019). Las medidas numéricas de dichas cantidades son cruciales para determinar el grado no clásico de un sistema bipartito. A menudo se habla en la literatura científica de un estado bipartito separable como clásicamente correlacionado. Matemáticamente, un estado de dos partitas A y B es separable si la función de estado que describe al estado conjunto se puede separar en el producto de estados de cada una de las dos partitas individuales. Es

decir,  $|AB\rangle = |A\rangle \cdot |B\rangle$ . Si dicha igualdad se cumple, entonces se dice que el estado bipartito está clásicamente correlacionado. Se dice que un estado bipartito está cuánticamente correlacionado si no está clásicamente correlacionado. En este punto surge la siguiente pregunta: ¿qué distingue un estado clásicamente correlacionado de un estado cuánticamente relacionado? La respuesta es: las capacidades para efectuar tareas de información que involucren recursos cuánticos.

Zanardi (2001) fue el primero en observar que las correlaciones cuánticas son relativas. Estas dependen de la elección de observables (cantidades físicas susceptibles de medición experimental) para medirlas. Por cierto, Bellomo y colaboradores (2016) hicieron la observación de que las correlaciones clásicas también son relativas al subsistema que se elija para medirlas.

Para determinar qué tan cuánticamente rico o cuánticamente pobre es un sistema bipartito, los especialistas emplean una medida llamada Potencial Quanticidad ( $P^Q$ ).

Así, un estado cuántico dado  $|AB\rangle$  en el que se encuentra el sistema bipartito, el Potencial Quanticidad se define como el valor máximo de todas las medidas de las correlaciones cuánticas, entre las dos partitas  $A$  y  $B$ . Dichas medidas de correlaciones cuánticas entre las dos partitas  $A$  y  $B$  pueden ser entrelazamiento cuántico, discordia cuántica o negatividad. Vale la pena observar que el Potencial Quanticidad es un número real, positivo, menor o igual que la unidad, es decir,  $0 \leq P^Q \leq 1$ . Valores del Potencial Quanticidad cercanos a cero indican que el estado cuántico bipartito es cuánticamente pobre. Por otra parte, valores del Potencial Quanticidad cercanos a la unidad indican un estado cuánticamente rico.

Las ventajas de un sistema bipartito cuánticamente rico es que son idealmente útiles para el procesamiento cuántico de la información, por ejemplo, el compilar algoritmos. Por el contrario, un sistema bipartito cuánticamente pobre es no funcional para el procesamiento cuántico de la información.



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2009.

## AGRADECIMIENTOS

M. A. A. agradece a SNI CONACyT.

## R E F E R E N C I A S

- Ávila Aoki M y Soberanes F (2019). Reseña de una Interpretación de Discordia Cuántica, *Ciencia Ergo Sum* 26 (2), Recuperado de <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/10639>.
- Bellomo G, Plastino A, Plastino AR (2016). Quantumness and the role of locality in quantum correlations. *Phys. Rev. A* 93:062322-32.
- Goldstein H (1987). *Mecánica Clásica*, Reverté.
- Horodecki R, Horodecki P, Horodecki M and Horodecki K (2009). Quantum Entanglement. *Rev. of Mod. Phys.* 81:865-942.
- Modi K, Brodutch A, Cable H, Paterek T and Vedral V (2012). The classical-quantum boundary for correlations: Discord and related measures. *Rev. of Mod. Phys.* 84:1655-1707.
- Sakurai JJ and Napolitano J (2020). *Modern Quantum Mechanics*. Cambridge University Press.
- Zanardi P (2001). Virtual Quantum Subsystems. *Phys. Rev. Lett.* 87:077901-09.

**José R. Castro San Agustín**  
**Manuel Ávila Aoki**  
**Centro Universitario UAEM Valle de Chalco**  
**UAE Mex**  
[jrcsa96@gmail.com](mailto:jrcsa96@gmail.com)  
[melpphys@gmail.com](mailto:melpphys@gmail.com)

# Desnudos, censura y agujeros negros

Alberto **Diez-Tejedor**

La censura es posiblemente una actividad tan antigua como la propia humanidad. La música, el cine, la literatura... cualquier manifestación artística e ideológica desarrollada por el ser humano está o ha estado censurada en algún momento de la historia. Al parecer, el universo no se escapa tampoco de ella.

Durante la primera mitad del siglo XX fuimos testigos de dos revoluciones científicas que cambiaron para siempre nuestra manera de entender el mundo. De un lado, la mecánica cuántica nos enseñó cómo el concepto de partícula es mucho más sutil de lo que nos imaginábamos, y cómo los resultados de las mediciones han de compararse con las predicciones de la teoría de un modo probabilístico. Del otro lado, la teoría general de la relatividad nos mostró cómo el espacio y el tiempo viven entrelazados en un continuo al que nos referimos como espacio-tiempo. La gravedad, la más universal de las interacciones, no es en realidad el resultado de una fuerza, como previamente Newton había interpretado, sino una manifestación de la curvatura del continuo espaciotemporal. Mientras que los efectos cuánticos normalmente se ponen de manifiesto a escalas microscópicas, los efectos relativistas típicamente lo hacen a escalas astrofísicas.

La teoría general de la relatividad está descrita en términos de lo que en matemáticas y física conocemos como unas ecuaciones de campo no lineales.

La no linealidad de estas ecuaciones dificulta su posible resolución, y el propio Einstein pensó que jamás nadie sería capaz de encontrar siquiera una solución exacta a sus ecuaciones (más allá de la que describe a un universo en ausencia de gravedad).

Sin embargo, a finales del año 1915, apenas dos meses después de la publicación del artículo original de Einstein (y cuatro antes de morir), el matemático prusiano Karl Schwarzschild, envuelto en la contienda de la Primera Guerra Mundial, encuentra la primera solución exacta no trivial a las ecuaciones de Einstein: aquella que describe el campo gravitatorio originado por una masa puntual.

Algo que caracteriza a esta solución es la presencia de una singularidad (de hecho, dos, aunque ahora entendemos que una de ellas no es en realidad fundamental).

Una singularidad es un artificio matemático en el que diferentes cantidades físicas se vuelven infinitas, y por tanto carentes de cualquier significado. Einstein siempre pensó que las singularidades no eran en sí reales, y que simplemente las soluciones a sus ecuaciones que presentaran alguna de estas patologías matemáticas deberían de considerarse no físicas, y por tanto descartarse del espectro de soluciones viables a su teoría.

Este pensamiento permeó en la comunidad científica por aproximadamente medio siglo, hasta que a mediados de la década de los años 60, Roger Penrose demostró, a partir de consideraciones bastante naturales, que las singularidades son en realidad una predicción genérica de la teoría de Einstein.

Estas deben de interpretarse no como una característica de las soluciones no físicas, sino más bien como un indicio de que la propia teoría de la relatividad ha de romperse en algún punto: la relatividad general de Einstein, aunque superior a la gravitación universal de Newton, tampoco puede constituir una descripción de la gravedad al nivel más fundamental. Esto no es en realidad ninguna sorpresa: las escalas de distancia a las que se

manifiestan las singularidades son tan diminutas que los efectos cuánticos de la gravedad deberían modificar la teoría de Einstein y evitar que estas lleguen a formarse.

Si fuéramos capaces de estudiar la región del espacio-tiempo en donde se forma una de estas singularidades y analizar de cerca cuál es su comportamiento, la información que obtendríamos nos serviría de guía al momento de inferir cómo la teoría de Einstein ha de reemplazarse por otra más fundamental que opere a las escalas microscópicas de distancia.

Sin embargo, en la teoría de Einstein estas singularidades no aparecen de cualquier modo, sino que lo hacen siempre rodeadas de un horizonte de eventos, una especie de vestimenta que nos cubre la singularidad y nos oculta las vergüenzas de la teoría.

En el contexto de la solución de Schwarzschild, este horizonte representa un punto de no retorno, más allá del cual no podemos ver y al que hoy en día nos referimos como agujero negro.

Y es que, de acuerdo con la Conjetura del Censor Cósmico es imposible ver ninguna singularidad al desnudo. O bien, si alguien se adentrara dentro de un horizonte de eventos para explorar lo que realmente ahí sucede nunca podría regresar para contarnos qué es lo que allí vio, y así orientarnos hacia cómo tendríamos que modificar a la relatividad general con el propósito de alcanzar una teoría superior.

Esto complica sobremanera posibles avances en el área de la gravitación cuántica, y es en parte el causante de que aún no hayamos sido capaces de formular una teoría de la gravedad superior a la de Einstein. Y es que, al parecer, la censura, tampoco es algo exclusivo del ser humano.

**Alberto Díez-Tejedor**  
**Departamento de Física**  
**División de Ciencias e Ingenierías**  
**Universidad de Guanajuato, Campus León**  
[alberto.diez@fisica.ugto.mx](mailto:alberto.diez@fisica.ugto.mx)

# Los literatos progresistas como preceptores ético-políticos de sus sociedades en el siglo XX

H. C. F. **Mansilla**

De los libros de los escritores progresistas en el siglo XX se desprende un aire de anacronismo y dogmatismo que probablemente se parezca a la atmósfera intelectual cuando en el próximo siglo se recuerde a los regímenes populistas de nuestro tiempo. Sus obras están llenas de un maniqueísmo ingenuo, pero muy seguro de sí mismo. En la primera mitad de aquel siglo los autores progresistas, los grandes poetas y pensadores de aquel momento, celebraban las glorias del régimen estalinista, sin percibir sus lados monstruosos. Posteriormente repetirían con sincera admiración e incansable liturgia la consigna del régimen cubano: “Dentro de la revolución, todo; fuera de la revolución, nada”. Esto concordaba con la renuncia a todo tipo de cuestionamiento, con la condena del escepticismo como actitud y la prohibición de toda duda con respecto a las verdades oficiales.

Después de la Revolución Cubana, muchos autores progresistas decían sentirse mal por no ser guerrilleros en medio de la lucha armada, pero todos compartían la astuta argumentación del famoso escritor ecuatoriano Jorge Enrique Adoum (1926-2009), quien dijo:

Me consuela, simplemente, decirme que acaso nos está reservada la honrosa tarea que el Che Guevara asignó a Régis Debray: explicarle al mundo el combate de nuestros pueblos.

Así, lejos del campo de batalla y de peligros inmediatos, los intelectuales podían, con la conciencia limpia, consagrarse a la noble y elitaria ocupación de enseñar a los pueblos desde la cátedra o desde los medios de comunicación cuál era el contenido y la meta de la acción revolucionaria. Y, como el mismo Adoum dice, había que explicar al pueblo estas verdades hasta que este último las comprenda y las acepte como propias. Los autores izquierdistas del siglo XX, casi sin excepciones, querían pertenecer a la vanguardia de un partido revolucionario para cargar sobre sus espaldas “la pesada cruz de la dirección” del movimiento respectivo.

Para comprender a los literatos “progresistas” en su función de preceptores ético-políticos, menciono el contraste entre dos lumbreras hoy olvidadas del realismo socialista en el siglo XX: Fadeiev y Aragon.

Alexandr A. Fadeiev (1901-1956) fue el autor de una de las obras más famosas de ese estilo que los partidos comunistas trataron de imponer a toda la producción literaria y artística.

Su novela *La joven guardia* (1946, reescrita en 1951), hoy totalmente olvidada, fue uno de los libros más leídos en la época estalinista y también entre jóvenes radicales a nivel mundial. Hoy no nos podemos hacer una imagen clara del enorme éxito literario y de la elevada autoridad moral que acompañaron a Fadeiev entre los partidarios y entusiastas del comunismo y, en general, entre la gente de buena voluntad durante una buena parte del siglo XX.

En su juventud Fadeiev se integró al Ejército Rojo; posteriormente fue miembro del Comité Central del Partido Comunista de la Unión Soviética. Recibió todos los premios y las condecoraciones importantes de ese país.

También fue presidente de la poderosa e influyente Unión de Escritores Soviéticos. En febrero de 1956 tuvo lugar el XX Congreso del Partido Comunista de la Unión Soviética, durante el cual el Secretario General del mismo, Nikita S. Jrushchëv,

reconoció y criticó los crímenes masivos cometidos bajo Stalin.

En la época estalinista Fadeiev había denunciado a varios escritores, sabiendo que eran inocentes, lo que entonces significaba el envío a un campo de concentración y a la muerte.

Fadeiev no pudo soportar esta nueva constelación, que probablemente le quitaba sentido a su vida, a su pasado y a sus creencias íntimas, y se suicidó a las pocas semanas. Fue la acción más digna de toda su vida. Se puede decir muchas cosas negativas de Fadeiev, pero no fue ni un oportunista ni un impostor.

En contraposición aludo aquí brevemente a Louis Aragon (1897-1982), una de las glorias literarias más ilustres de Francia. Este notable poeta, novelista y político militó primeramente en las filas del surrealismo, donde escribió sus mejores obras. Bajo la influencia de su esposa, Elsa Triolet, quien trabajó para los servicios secretos de la Unión Soviética, se convirtió al marxismo convencional propalado por el Partido Comunista Francés (PCF), al cual fue disciplinadamente fiel hasta su muerte. Ahí fue el gran representante del realismo socialista. Se puede comprender la fascinación que Elsa ejercía sobre Aragon, pues fue una mujer excepcionalmente bella, sensual, talentosa y enigmática. Todo lo que emprendía, por ejemplo en el campo literario, le resultaba exitoso.

En forma vehemente Aragon defendió la razón de Estado soviética; justificó la “necesaria crueldad” que se utilizó contra los disidentes. Propició –por suerte sin resultado positivo– la instauración de una severa policía secreta en Francia para controlar las esferas del pensamiento, las publicaciones, las universidades y la enseñanza pública. Todavía en vida de Stalin publicó su oda *El más grande filósofo de todos los tiempos*, en la cual celebra al dictador como el “jefe de los pueblos”, que “fecundó la Tierra”, “rejuveneció los siglos”, hizo “florecer la primavera” y “vibrar las cuerdas musicales”. No hay un ápice de ironía o de distancia en este panegírico, del cual Aragon jamás se distanció. Posiblemente le cayó mal el XX Congreso del Partido Comunista de la Unión Soviética. Pero al contrario de Fadeiev no



© Enrique Soto. Serie "Mofles", 2007.

sufrió ni la más mínima sacudida ética. Continuó perteneciendo a la jefatura superior del PCF y, sobre todo, prosiguió con un tren de vida consagrado al lujo, a la publicidad y al hedonismo.

Pablo Neruda (1904-1973), el poeta de la esperanza y la alegría, percibió el XX Congreso del Partido Comunista de la Unión Soviética del siguiente modo. En sus memorias *Confieso que he vivido* dice a la letra:

Algunos sentimos nacer, de la angustia engendrada por aquellas duras revelaciones, el sentimiento de que nacíamos de nuevo. Renacíamos limpios de tinieblas y del terror, dispuestos a continuar el camino con la verdad en la mano.

La "verdad en la mano" es, por supuesto, una bella ilusión o algo más prosaico. Neruda registró cuidadosamente todos los actos de discriminación y censura que le tocaron a él, así haya sido tangencialmente, pero no dijo ni una sílaba en torno a la censura, la cárcel y cosas aún peores –las tinieblas

y el terror– que sufrieron los bardos en la Unión Soviética y en Cuba.

En sus memorias Neruda incurre en un infantilismo –que se repite insidiosamente a lo largo de toda la obra– al describir a los grandes líderes comunistas. De Mao Tse-Tung solo señala los ojos sonrientes y los cálidos apretones de manos. De Stalin dice que era un "gran tímido, un hombre prisionero de sí mismo", y sin ironía lo compara con Jehová: impredecible y terrible, pero era la voz de la justicia histórica y divina. Y agrega:

Esta ha sido mi posición: por sobre las tinieblas, desconocidas para mí, de la época staliniana, surgía ante mis ojos el primer Stalin, un hombre principista y bonachón, sobrio como un anacoreta, defensor titánico de la revolución rusa. [...] La muerte del cíclope del Kremlin tuvo una resonancia cósmica. Se estremeció la selva humana.

## Y EN OTRO LUGAR AFIRMA:

Yo había aportado mi dosis de culto a la personalidad en el caso de Stalin. Pero en aquellos tiempos Stalin se nos aparecía como el vencedor avasallante de los ejércitos de Hitler, como el salvador del humanismo mundial. La degeneración de su personalidad fue un proceso misterioso, hasta ahora enigmático para muchos de nosotros.

Anteriormente, en su celebrada *Oda a Stalin*, Neruda había cantado: “Stalin es el mediodía, / la madurez del hombre y de los pueblos”. [...] “Era más sabio que todos los hombres juntos”. Y en el *Canto general* dijo: “Stalin alza, limpia, construye, fortifica, / preserva, mira, protege, alimenta, / pero también castiga. / Y esto es cuanto quería deciros, camaradas: / hace falta el castigo”.

Intercalo estas citas porque las opiniones de Neruda frente al estalinismo y, en general, ante el desarrollo fáctico del socialismo en la vida cotidiana de las sociedades sometidas a su mandato, representan la posición de muchos intelectuales progresistas de América Latina (y de gran parte del mundo) con respecto a los regímenes comunistas en la realidad. Conocí y conozco a mucha gente inteligente que comparte esta idea. Casi todos aducen lo mismo: desconocimiento de la represión bajo Stalin y sus sucesores, el rol heroico de Stalin en la construcción y defensa del socialismo, su carácter presuntamente sobrio, bonachón y principista, su fallecimiento como suceso cósmico. Casi todos ellos sostienen lo que decía Neruda sobre la función histórica de la Unión Soviética: “una lección moral para todos los rincones de la existencia humana”, la “gigantesca verdad” que se elaboró bajo ese



régimen para toda la humanidad y otras lindezas que llenan varias páginas de sus memorias.

Neruda, un poeta excelso, pero un espíritu bastante convencional con respecto a asuntos políticos, estaba encandilado por la retórica de tonos revolucionarios y ademanes enérgicos de los líderes comunistas que conoció: los gestos autoritarios y decididos y la lógica de la acción violenta le parecían cualidades positivas que encumbraban a estos líderes por encima de los políticos rutinarios. Como muchos bardos revolucionarios, Neruda estaba también fascinado por los agasajos de que fue objeto en los países comunistas: los manjares escogidos, los vinos exquisitos y las mujeres deslumbrantes que experimentó, le impidieron avizorar la vida de privaciones de los trabajadores, las restricciones a las libertades más elementales y los campos de concentración. Para evitar un malentendido quiero aclarar que Pablo Neruda fue uno de los poetas más eminentes que han producido América Latina y el mundo entero.

Hay en sus memorias trozos luminosos sobre la existencia humana, como el hermoso párrafo donde reconoce que muchos izquierdistas cultivan la “voracidad por el lujo y el dinero”.

Acentuando el contraste, aquí aludo brevemente a Kafka y Chejov. Franz Kafka (1883-1924) previó la extrema perversidad de los regímenes totalitarios en el siglo XX, que estuvo unida a la máxima perfección técnica. Y lo hizo en un lenguaje brillante, en una de las prosas más hermosas en toda la historia de la literatura. *El proceso* ha resultado su novela más conocida, que yo recuerdo aquí como una descripción maestra de la burocracia latinoamericana en muchos países.

Esta última no puede ser comprendida empleando categorías racionales, pues esta maquinaria infernal tiene un funcionamiento grotesco y está manejada por un personal extremadamente arrogante y corrupto que, además, no posee ninguna calificación jurídica o técnica para ejercer un puesto. Es un miniuniverso kafkiano, concebido para dificultar la vida de los mortales.

Pero lo más grave es que la población latinoamericana —con poquísimas y honorables excepciones—

no siente la necesidad de protestar contra una institución tan mediocre.

Admito que me gustan los temas tristes y deprimentes. Por ello me acuerdo aquí de Anton P. Chejov (1860-1904). Él nos dejó una obra fulgurante antes de morir a los cuarenta y cuatro años. Lo que me atrajo del teatro y de las narraciones de Chejov es la representación de la frustración, el aburrimiento y el sinsentido como factores decisivos de la vida de sus protagonistas.

En sus obras no aparecen figuras positivas; todos los protagonistas son tediosos, fracasados, mentirosos y sin ideales. Y, sin embargo, Chejov creía en un futuro mejor para la humanidad. Él tenía solo una sonrisa irónica para la buena reputación; dudaba del valor de su propia obra. Esto es signo de grandeza silenciosa. Trabajó hasta el último instante, sabiendo que no hay respuestas claras acerca de las grandes cuestiones, como el sentido de la existencia. Solo tenía la confianza de que la búsqueda de la verdad y el buen humor nos acercarían a una vida mejor, pero era evidentemente una esperanza precaria.

De algunos escritores se puede aprender cómo no hay que comportarse. Aquí menciono en lugar preferente a Bertolt Brecht (1898-1956), de quien se dice que combinaba formas avanzadas de cinismo con un oportunismo ramplón y también, sin duda alguna, con una maestría rara vez igualada en la composición de textos poéticos de gran musicalidad. Él fue uno de los primeros en postular abiertamente que la imagen es más importante y lucrativa que los valores morales. Una cosa es constatar la relevancia de la impresión exterior que producimos y su posible significación monetaria —asunto conocido ampliamente desde la más remota antigüedad—, pero otra cosa diferente y muy deplorable es enaltecer ese hecho a la categoría de un comportamiento ejemplar y de una virtud socialista y revolucionaria.

El contenido didáctico de sus dramas *La medida* y *La vida de Galileo* es simplemente inaceptable: una visión estrecha y dogmática de situaciones muy

complejas, visión congruente con el estalinismo de su época, del cual este autor nunca se distanció seriamente. Brecht era, además, un egocéntrico enfermizo, un egoísta confeso, un manipulador sin piedad de la conciencia de aquellos que lo rodeaban, sobre todo de sus admiradoras. Como muchos intelectuales izquierdistas exhibía hacia afuera una radicalidad friamente estudiada, que contrastaba con una marcada cobardía en la praxis.

Un lector progresista encontrará estas aseveraciones totalmente injustas y aun falsas y me recordará que Hannah Arendt celebró las cualidades inigualadas de este poeta. Y me reprochará que ignoro los hermosos y elocuentes versos autocríticos en sus poemas *An die Nachgeborenen* (“A los nacidos con posterioridad”) y *Die Lösung* (“La solución”). No dudo de la eximia calidad literaria de Brecht, que se trasluce justamente en “La solución”: un poema breve, casi lacónico, gracioso, irónico y punzante, en el cual este autor critica al gobierno de la República Democrática Alemana (1953), donde él residía como escritor aclamado y protegido por ese mismo Estado. La propia Hannah Arendt, citando al poeta W. H. Auden, especula acerca de la gloria que podría haber alcanzado Brecht si su vida hubiera sido la de un hombre bueno. En el Día del Juicio Final, ¿lo salvarán sus muchos libros, presuponiendo que Dios, el intelectual por antonomasia, los habría leído y aclamado?

La literatura tiene –o debería tener– una función trascendente que la acercaría a la genuina religiosidad: que el olvido no tenga la última palabra, que la injusticia y la impunidad no resulten lo definitivo y que los seres humanos no sean únicamente medios para fines ulteriores. Aprendí esta hermosa enseñanza leyendo a Anna Ajmatova (1889-1966), la eximia poeta, cuya vida fue un ejemplo trágico de la desesperanza que caracterizó a la Santa Rusia en la primera mitad del siglo XX. Ajmatova nos dice que la memoria brinda sentido al sinsentido por excelencia, que es la historia. Me impresionó mucho su “Réquiem”, escrito en un estilo elegante y lacónico y por ello doblemente emotivo y persuasivo.

En esta obra Ajmatova relata un encuentro fugaz con otra prisionera en los sótanos de una cárcel. Esta última, una mujer al borde de la muerte por el maltrato y las dolencias, le preguntó si podía describir esa terrible constelación y así salvarla para la posteridad, es decir, para evitar que el olvido eterno y las sombras de la historia eliminaran definitivamente la memoria del sufrimiento y del abandono en que se hallaba una buena parte de la población bajo el régimen estalinista. Cuando Ajmatova asintió, una leve sonrisa iluminó lo que quedaba del rostro de la pobre mujer, que murió débilmente consolada.

Se puede preservar un sentido de la vida humana si alguien deja un testimonio fehaciente del dolor de toda una generación, como lo hizo Ajmatova al cantar lo que sucedía durante la noche del terror y la inhumanidad, que las crónicas oficiales tratan hasta hoy de encubrir y omitir.

La gran poetisa tuvo el valor de recordar e inmortalizar literariamente aquel tiempo del desprecio por el individuo, cuando se quebraron las “rutinas de la civilización” y cuando unas “sombras burocráticas” decidían arbitrariamente sobre la vida y la muerte de las personas en los oscuros e inaccesibles corredores del poder supremo.

En la Rusia del siglo XX Anna Ajmatova pensó que su producción poética serviría para evitar el olvido de las víctimas del estalinismo, pero creo que fue un esfuerzo vano. ¿Quién se acuerda hoy de los innumerables prisioneros obligados a trabajar en condiciones infrahumanas en el norte de Siberia? ¿O de los millones de víctimas de los experimentos radicales en Camboya y en China? Y todo ello ocurrió en nombre de un modelo que pretendía ser la culminación racional de toda la evolución humana, basado en la infalible interpretación racionalista de la historia universal, un modelo que debería haber traído la paz perpetua, el paraíso terrenal de los trabajadores y la prosperidad general a sus habitantes.

**H. C. F. Mansilla**  
**Miembro de número de la Academia**  
**de Ciencias de Bolivia**  
[hcf\\_mansilla@yahoo.com](mailto:hcf_mansilla@yahoo.com)



MEXICO

ES

10

TRANSPORTE

VEN Y SE

VENTA DE

Infalor

A VUE TU LO PEDISTE LLEGA PO

ANA VEZ CON TODO SU SONO

O E AUDIO E ILUMINACION

DA CIUDAD DE PUEBL

AZ

INCREDIBLE

DE

URA

ero rero de la ciudad de Puebla

SSON

ERERERO DE LA NOCHE

TEDE NTEDE LA BATICUEVA

ARRIRIR

AATIA

ALO

MEXICO

PLANTA DE

TRANSPORTE TOD

VEN Y SE TESTIG

