# elementos

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA • No. 144 • Volumen 33 • octubre - diciembre 2026 • $40.00

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



00144
7 52435 06402 6
EXHIBIR HASTA EL 31-DICIEMBRE-2026

El animal que por lo tanto soy | La inteligencia de los pulpos | El cero: la nada que transformó el mundo | La paradoja del *prompting*... | De la tierra al laboratorio... | Las raíces químicas de nuestras emociones y comportamiento | Depresión perinatal: las caras de un enemigo... | Patología dual: el vínculo invisible entre la salud mental... | Péptidos antioxidantes de origen marino... | El poder anticancerígeno de los vegetales crucíferos... | ¿La inteligencia artificial puede ayudarnos a entender...? | Hidrogel de quitosano para robótica blanda... | Nanomateriales fabricados con luz... | Del laboratorio al edificio: cómo la nanobiotecnología... | ¿Cuánto cuesta conservar la naturaleza en México? | La cáscara olvidada: cuando el residuo se vuelve recurso | Larvas que transforman residuos en alimento... | Aridisoles: una ruta salvaje bajo el desierto | Paisajes diversos: aliados de polinizadores... | El aporte del arbolado urbano... | Los gestos como instrumentos para la enseñanza... | Injusticia epistémica y sus implicaciones... | Obra gráfica: Rafael Pareja



# S U M A R I O


El animal que por lo tanto soy 3
Anamaría **Ashwell**

La inteligencia de los pulpos 13
Martha **León-Olea**

El cero: la nada que transformó el mundo 19
Franklin W. **Peña-Polo** y Leonardo Di **G. Sigalotti**

La paradoja del *prompting*: por qué no es el futuro de la interacción humano-computadora 25
Josefina **Guerrero García** y Juan Manuel **González Calleros**

Entre arrozales y rascacielos: Vietnam hoy 31
Mara **Gómez**

De la tierra al laboratorio: bacterias que fabrican antibióticos 37
Fernando **Juárez-Vallejo** y José Antonio **Cervantes Chávez**

Las raíces químicas de nuestras emociones y comportamiento 43
Luz María **Nicio-Antonio** y Juan Francisco **Rodríguez-Landa**

Depresión perinatal: las caras de un enemigo poco conocido 49
José Francisco **Camacho Aguilera** y Margarita **Pérez Arredondo**

Patología dual: el vínculo invisible entre la salud mental y las adicciones 55
Monserrat **Armenta Reséndiz** y Roberto **Meyer Gómez**

Péptidos antioxidantes de origen marino: pequeñas moléculas con gran impacto biológico 61
Jesús Antonio **García Aguirre** y Crisantema **Hernández González**

El poder anticancerígeno de los vegetales crucíferos: el sulforafano 65
Jesús Roberto **Rodríguez Sánchez** y Claudia Magdalena **López Badillo**

¿La inteligencia artificial puede ayudarnos a entender y diagnosticar enfermedades autoinmunes? 69
Ana Laura **Lezama-Sánchez** y Mireya **Tovar Vidal**

Hidrogel de quitosano para robótica blanda y aplicaciones biomédicas 77
Salvador Enrique **Lobato Larios**

Nanomateriales fabricados con luz: el poder de la energía láser 83
Nicolás Enrique **Vázquez-Barragán** y José Guadalupe **Quiñones-Galván**

Del laboratorio al edificio: cómo la nanobiotecnología combate el síndrome del edificio enfermo 89
Susana **De la Rosa García** y Sergio Alberto **Gómez Cornelio**

¿Cuánto cuesta conservar la naturaleza en México? 95
Julisa Guadalupe **Cabrera Borraz** y Ludger **Brenner**

La cáscara olvidada: cuando el residuo se vuelve recurso 101
Susana Marlene **Barrales Heredia** y Hernán **Celaya Michel**

Larvas que transforman residuos en alimento para las plantas 105
Laura Yesenia **López López** y Hugo **González Lara**

Aridisoles: una ruta salvaje bajo el desierto 113
Paula Alejandra **Gómez Palomo** y David Francisco **Lafuente Rincón**

Paisajes diversos: aliados de polinizadores y de enemigos naturales de plagas 117
Susana **Maza-Villalobos** y Sergio **Zapata-Martínez**

El aporte del arbolado urbano: una mirada al parque La Alameda de Texcoco 123
Tomás **Martínez-Trinidad** y Abigail Ivonne **Merino-Laris**

Los gestos como instrumentos para la enseñanza-aprendizaje 129
Aline **Minto-García**

Injusticia epistémica y sus implicaciones para la tradición filosófica en clave femenina 135
Verónica **Ramírez Cárdenas** y Cintia C. **Robles Luján**



BUAP

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**
**rectora,** Ma. Lilia Cedillo Ramírez
**secretario general,** Damián Hernández Méndez
**vicerrectora de investigación y estudios de posgrado,** Amira del Rayo Flores Urbina

**ELEMENTOS**
**www.elementos.buap.mx**
revista trimestral de ciencia y cultura
número 144, volumen 33, octubre-diciembre de 2026
**director,** Enrique Soto Eguibar
**subdirector,** José Emilio Salceda
**diseño y producción gráfica,** Mirna Guevara
**corrección de estilo,** Emilio Salceda y Leopoldo Noyola
**sitio web y laboratorio multimedia**, Leopoldo Noyola
**redes sociales,** Mirna Guevara
**administración y logística,** Lorena Rivera e Ileana Gómez
**redacción,** 14 Sur 6301, Ciudad Universitaria
Apartado Postal 406, Puebla, Pue., C.P. 72570
**email:** esoto24@gmail.com



**consejo editorial,** Itziar Aretxaga (CAB CSIC-INTA, España), Beatriz Eugenia Baca (ICUAP, BUAP), María Emilia Beyer Ruiz (DGDC, UNAM), María de la Paz Elizalde, (ICUAP, BUAP), Ana Lidya Flores Marín (IBERO Puebla), Marcelo Gauchat (FUNDACIÓN FORMA, A. C.), Sergio Segundo González Muñoz (COLPOS Montecillo), Federico Méndez Lavielle (Facultad de Ingeniería, UNAM), Jesús Mendoza Álvarez (Instituto Politécnico Nacional), Ricardo Moreno Botello (Ediciones de Educación y Cultura), Francisco Pellicer Graham (Instituto Nacional de Psiquiatría), Adriana Pliego Carrillo (Facultad de Medicina, UAEM), Leticia Quintero (Facultad de Ciencias Químicas, BUAP), José Emilio Salceda (Instituto de Fisiología, BUAP), Gerardo Torres del Castillo (ICUAP, BUAP), Catalina Valdés Baizabal (Laboratorio de Neurobiología Celular, Universidad de La Laguna), Enrique Vergara (ICUAP, BUAP)
**obra gráfica,** © Rafael Pareja
**Portada, 2ª y 3ª de forros,** © *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026
**4ª de forros,** © *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026



CINTILLO LEGAL
ELEMENTOS, Año 41, No. 144, octubre a diciembre de 2026, es una publicación trimestral editada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con domicilio en 4 Sur número 104, Col. Centro, C. P. 72000, Puebla, Pue., y distribuida a través de Revista Elementos, con domicilio en Av. 14 Sur No. 6301, Col. San Manuel, Puebla, Pue. C. P. 72570. Tel. 222 229 55 00 ext. 7316. Editor responsable Dr. Enrique Soto Eguibar, esoto24@gmail.com. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2018-101113435900-102. ISSN 0187-9073, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Cultura. Este número se terminó de imprimir en septiembre de 2026. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

CONAHCYT ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



CC

**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.



www.elementos.buap.mx

# El animal que por lo tanto soy[1]

Anamaría **Ashwell**

*La paradoja es ser incognoscible por la evidencia de su fulgor...*

Oscar del Barco

**1.**

El origen[2] del hombre[3] es la cuestión central de la investigación paleoantropológica, pero los fundamentos teóricos que la guían y el registro fósil de sus hallazgos no se han discutido desde las perspectivas de otras disciplinas. En gran parte, esto se debe a que la paleoantropología es una suerte de resumen de investigaciones y técnicas de múltiples disciplinas científicas afines, y en la que los especímenes fósiles, al clasificarlos y fecharlos, requieren la participación de geólogos, anatomistas, genetistas, biólogos, primatólogos y otros. Es una disciplina que, además, abarca un tiempo arcaico casi imposible de concebir: estimado en unos 70 millones de años, correspondientes al tiempo aproximado de la presencia de primates en el planeta.

Contribuye a ello también el hecho de que el sistema clasificatorio al que recurren los paleoantropólogos[4] ha sido por largo tiempo solo una herramienta para organizar fenómenos morfológicos y funcionales que solo idealmente sirven como criterios para agrupar fósiles en una u otra categoría taxonómica.[5] Toda clasificación de fósiles homínidos resulta provisional y también un "caos de nomenclaturas antropológicas",[6] incluso para quienes se entrenan en esta especialidad. La clasificación del nombrado "hombre de Java" descubierto por Eugene Dubois en 1891 y fechado



**© Rafael Pareja.** *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026.

en el temprano Pleistoceno (2 a 3 millones de años)[7] da cuenta de ello: clasificado originalmente como *Pithecanthropus erectus* y del género en transición entre mono y hombre; treinta años después otro paleoantropólogo, Henry Fairfield Osborn, lo reclasificó como *Paleoanthropus trinilensis*. A mediados de 1930, a partir de nuevos ejemplares fósiles, von Koeningswald lo devuelve al género *Homo* y especie *erectus*, adjudicándole dos variedades o subespecies con los nombres *pekinensis* y *mauritanicus*.

Hasta el presente, la clasificación taxonómica fósil sigue siendo contenciosa, abundante y discrepante, y se requiere necesariamente el nombre del paleoantropólogo que llevó a cabo el rescate –y la argumentación de su equipo– para sostener o descartar la clasificación adoptada. Además, hasta hace unos quince años, el registro fósil se basó preferentemente en la morfología ósea del espécimen recuperado, infiriendo su posicionamiento en estratos geológicos y geográficos. Las fechas de las principales capas de la tierra, sin embargo, son también aproximativas: ninguna excavación que produzca fósiles contiene todas las secuencias estratificadas completas de todos los principales periodos geológicos del planeta. Así, las distintas periodizaciones asociadas a fósiles necesariamente divergen en distintas geografías. Las secuencias de bloques de tiempos geológicos (llamados eras) se calculan sobre un consenso previo que abarca periodos de millones de años[8] y tiene que considerar fluctuaciones en movimientos telúricos, asentamientos e interferencia de fauna, entre otros factores. Por si eso no fuera suficiente para marear incluso al estudiante de paleoantropología, las técnicas para fechar y asociar geografía y fósiles solo entregan fechamientos aproximativos y relativos.[9] El recurso técnico del radiocarbono o carbono-14, el más utilizado, complementado con técnicas estadísticas (teorema de Bayes, entre otras) al analizar fósiles da fechas aproximativas que solo abarcan hasta 50,000 años de antigüedad.[10] En la última década, el registro fósil, tradicionalmente más o menos consensuado, se discute modificado esencialmente por la introducción de técnicas químicas y el análisis genómico de investigadores del Max-Planck-Institut für Evolutionsbiologie en Leipzig, entre otros. El escenario evolutivo de los primates, específicamente del *Homo sapiens* actual, se muestra radicalmente distinto del que estudiamos los antropólogos en el siglo XX.

A mayor antigüedad,[11] ciertamente se vuelve más contenciosa la clasificación y el fechamiento del registro fósil orgánico e inorgánico, independientemente de las técnicas a las que se recurra. El descubrimiento de fósiles en este vasto planeta –considerando que a veces son fortuitos y resultado de excavaciones aleatorias realizadas por personas no entrenadas en paleoantropología– enterrados en hondas secuencias geológicas o en cuevas, es aún insuficiente para comprender inequívocamente lo que narra el registro fósil sobre la evolución de los primates. El misterio de la vida animal (o de la vida del *sapiens*) en el planeta sigue siendo una suerte de hiladas y provisionales conjeturas, porque cualquier propuesta sobre el origen, o el lugar que un espécimen ocupa en el registro fósil, solo se sustenta desde la hipótesis y la observación previa que la guía: el continuismo darwiniano, por decirlo así, que no puede comprobarse como enteramente coherente y consistente desde ese mismo postulado previo. Esos postulados en la investigación paleoantropológica que gobiernan el registro fósil no admiten, además, debates no científicos o debates desde un lenguaje no matemático ni cuantitativo. La validación de los postulados y hallazgos empíricos de la paleoantropología está comprometida y atravesada por algo ineludible: toda pregunta por el origen del hombre involucra mucho más que su evidencia fósil y los

artefactos asociados. La vida animal no admite reducirse a su sola expresión física y química.

Y al mismo tiempo, las esenciales propuestas de la investigación científica sobre la vida animal, y en particular sobre los primates en la paleoantropología, resultan también ineludibles para la reflexión sobre cómo presencia la vida animal en el planeta. El registro fósil que la paleoantropología organiza, formula empíricamente y formaliza físicamente en teorías o contrateorías, refleja evidencias de una realidad, digamos, objetiva que no se puede obviar.[12]

Una contribución ineludible de la investigación paleoantropológica, por ejemplo, es la demostración, sustentada en evidencia empírica, de que *Homo sapiens* pertenece al orden de los primates y al reino animal. *Homo sapiens* (es decir, nuestra especie) está clasificado como un primate, y esa clasificación refleja un origen evolutivo compartido con los demás primates. Ello no implica la existencia de un único ancestro ni de un "eslabón perdido", sino de una sucesión de poblaciones ancestrales y de múltiples formas transicionales a lo largo de una historia evolutiva que se remonta aproximadamente 70 millones de años.

La secuencia tardía del registro fósil del *Homo sapiens*, a pesar de ser una clasificación taxonómica que crea homogeneidades entre fósiles donde también persiste una radical heterogeneidad, esencialmente borra la distinción entre la vida del *sapiens* y la de otros especímenes del reino animal. Y así también borra supuestos valores jerárquicos entre animales, y entre estos y el *sapiens*. El registro fósil no comprueba un primate "superior" o de "mayor" o más "complejo" desarrollo entre primates, salvo desde un prejuicio antropocéntrico. El registro fósil demuestra solo jerarquías geocronológicas, sin "mejores" atributos de adaptación y evolución respecto a otros del reino animal. Cada animal presenta capacidades y cualidades propias, y todos tienen un tiempo de, digamos, caducidad; además de que comprenden una enorme multiplicidad y entrecruzamientos de formas vivientes y extintas. Solo con intención antropocéntrica el *Homo sapiens sapiens*, es decir nosotros, es valorado como un animal con una evolución "superior" dentro del reino animal.



**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

Actualmente el registro fósil da cuenta (de manera provisional, porque los rescates aún son limitados) de nueve especies del género *Homo* contemporáneas con *sapiens*.[14] En el caso de los fósiles rescatados de la Cueva del Ciervo Rojo en China, incluso se observa la presencia de *Homo* que compartieron tiempo y geografía con *sapiens* hasta hace aproximadamente 11,500 años, cuando la agricultura y la habitación sedentaria se registran en algunas geografías.

Ciertamente, entre las nueve especies del género *Homo* actualmente aceptadas en el registro fósil –y pueden recuperarse más–, *sapiens sapiens* es la última aún no extinta, aunque presencia un tiempo relativa y comparativamente corto: aproximadamente 300,000 años en su registro fósil. Es decir, de una múltiple presencia de homínidos del género *Homo*, estos se van reduciendo o extinguiendo en el tiempo hasta que actualmente solo existe viva una sola variedad: *sapiens sapiens*.

La recuperación de fósiles del *sapiens* arcaico lo muestra habituado a una dieta carnívora y –aunque no es el único animal que recurre a herramientas para procurarse alimento ni el único animal carnívoro– es también el primate que más recurre a instrumentos o herramientas que sirven y se usan como armas, incluso contra su propia especie: "especie invasora", anotan algunos paleoantropólogos para describir la presencia del *Homo sapiens* en su tiempo evolutivo y en diversas geografías.[15]

El creciente desarrollo de técnicas para producir herramientas y armas asociado a los homínidos –en

particular al *sapiens* tardío– es una buena pista para comprender su larga persistencia, pero una mala noticia, digamos, para las ballenas o los babuinos; incluso para otros homínidos y para la infinidad de animales que comparten con el *sapiens* el planeta Tierra.

**2.**

El registro paleoantropológico da cuenta de depósitos en el mismo tiempo geológico, en el Pleistoceno Temprano y Medio (hace 4 millones a 1 millón de años en algunas secuencias), de fósiles clasificados entre los homínidos más precoces: *Australopithecus* y *Homo erectus*.[16] El primer descubrimiento corresponde a Raymond Dart y es de un cráneo con una antigüedad aproximada de dos millones de años que se conoció como "Niño de Taung". Desde entonces, excavaciones en diversas regiones de África han rendido nuevos especímenes, retrotrayendo la aparición de fósiles con morfología compartida homínida a unos 3.5 millones de años de antigüedad. La discusión continúa y gira en torno a la extinción, a mediados del Pleistoceno, de variedades de australopiteco –el mono del sur –, si ello se relaciona con la presencia de *Homo erectus*, o si alguna variedad de australopiteco desembocó en la línea evolutiva de *Homo sapiens*.[17]

Al australopiteco, la paleoantropología lo describe antropocéntricamente como "antropoide prehumano" (una suerte de simio en transición hacia el *Homo sapiens*) mediante la clasificación de fósiles de más de 300 individuos recuperados en África e Indonesia. Se estima que perduró aproximadamente 900,000 años; es decir, tres veces más tiempo del que lleva en la Tierra el *Homo sapiens*. Algunas secuencias lo ubican desde finales del Plioceno al Pleistoceno Medio (5,500,000-700,000 a.C.) y describen al *Australopithecus africanus*, por sus características craneales y dentales, como un primate herbívoro erecto; *Paranthropus robustus*, por su parte, ha sido descrito como un carnívoro ocasional que hace un uso importante de herramientas creadas con huesos y piedras. La asociación entre su condición carnívora y el empleo de herramientas y armas es un factor considerado de evolución "superior" dentro del continuismo darwiniano y se vuelve un elemento taxonómico comparativo que ubica al *sapiens*, por esas mismas características, en un escalafón superior.[18] Es decir, ese escalafón jerárquico que asocia la condición carnívora y el uso de herramientas y armas con el desarrollo de mayor capacidad y volumen cerebral es un factor central para clasificar al *sapiens* como el ejemplar más complejo y mejorado en la evolución animal.[19]

Es de considerar también que, en esa valoración evolutiva, jerárquica y antropocéntrica, las evidencias empíricas de diversidad dentro de la clasificación taxonómica homínida se pierden, por ejemplo, en relación con los homínidos australopitecos arcaicos y tempranos. Documentado empíricamente por el paleoantropólogo R.A. Dart desde sus excavaciones de fósiles en 1949 (Tang, Sudáfrica), se margina el dato de que el *Australopithecus africanus*, igual que el *sapiens* posterior, recurrió extensamente a la producción de herramientas para usos letales.[20] El uso de herramientas, asociado al desarrollo cerebral, solo da cuenta de las técnicas a las que recurrieron tempranamente los homínidos para ampliar su presencia en universos geográficos dispares; valorado antropocéntricamente, sin embargo, se toma como factor evolutivo "superior".

Raymond Dart y otros investigadores recuperaron evidencias materiales que llevaron a Dart a proponer que los australopitecos no eran solo "lanzadores", sino también "apaleadores": cazadores capaces de matar babuinos y otros animales mediante herramientas elaboradas con huesos, cuernos y, en particular, caderas de antílopes. Según esta interpretación,

**© Rafael Pareja.** *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026.



dichos instrumentos no solo se utilizaban para la caza, sino también para golpear a las presas hasta causarles la muerte. Con las propuestas de Dart se inició un debate que continúa hasta la actualidad: si los homínidos más antiguos dedicados a la caza y con una dieta parcialmente carnívora empleaban herramientas como armas de manera sistemática y qué papel desempeñó la violencia en la evolución humana.

Y más aún: si el registro fósil borra la distinción entre el hombre y el animal, el antropocentrismo se introduce en el registro fósil con las comparaciones físico-biológicas jerarquizadas de los rescates homínidos. La multiplicidad de formas de vida y perspectivas de aquellos especímenes clasificados y agrupados dentro de un solo género deja de lado la especificidad de cada espécimen fósil y la manera singular en que estuvo presente en el mundo. Y también el dato evidente más importante: por miles de años, la cohabitación en las mismas geografías implica aprendizajes y adopciones entre diversas formas de habitar: herramientas, armas y muestras de vida simbólica o social se copian y se contagian. Por eso mismo, el registro fósil no da cuenta de "revoluciones", cambios rápidos asociados a la aparición, por ejemplo, de uno u otro homínido, sino más bien de adopciones y contactos graduales durante miles de años, copiando, imitando y a veces innovando desde la diversidad compartida en el reino animal. El factor demográfico, a su vez, contribuye a la hibridación de poblaciones que cohabitan. Tom Highman concluyó, por eso mismo, que aquel árbol con ramas de la evolución homínida del antiguo modelo evolucionista tiene que transformarse actualmente en un "ancho y trenzado río con tributarios que a menudo fluyen y descargan sus aguas entre ellos".[22]

**© Rafael Pareja.** *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026.



**3.**

*Homo erectus* es el homínido con la presencia más prolongada en el registro fósil, donde está documentado durante cerca de dos millones de años. También es el primer homínido cuya anatomía evidencia una locomoción bípeda plenamente desarrollada y una postura corporal completamente erguida.

En el continuismo darwiniano de la paleoantropología del siglo XX, *Homo erectus* ocupaba un lugar que los mexicas llamaban *neplanta*: un lugar intermedio (aquí aplicado al sitio entre el australopiteco y el *Homo sapiens*). Actualmente, ese registro fósil y la ubicación de *Homo erectus* es radicalmente distinta. Su registro geográfico se ha ampliado también por nuevos rescates en África, Oriente Medio y el sur de Asia. Su antigüedad en el registro fósil actual se estima entre 1.3 y 1.8 millones de años. La presencia de *Homo erectus* muy probablemente se extiende para cohabitar con *Homo sapiens* hasta que desapareció del registro fósil aproximadamente hace 100,000 años.[23]

El bipedalismo de *Homo erectus*, su capacidad de movilidad erecta, se refiere como otra característica morfológica primordial en el darwinismo secuencial de la evolución homínida conducente al *Homo sapiens*. En la década de los setenta, en mis seminarios de paleoantropología y en la bibliografía exigida, era un consenso que *Homo erectus* correspondía a un homínido en vías de evolución, después del australopiteco, hacia el *Homo sapiens*. Actualmente se le reconoce compartiendo geografía y tiempo con otras variedades homínidas, incluyendo a *Homo sapiens*, y su registro fósil contribuyó a una lectura de la evolución de los primates que cuestiona incluso la idea de una selección natural en la cual el espécimen más fuerte, juzgado más apto, se impone necesariamente sobre el otro: dos millones de años de *Homo erectus* exhiben que todo lo atribuido como superior al *sapiens* ya había ocurrido con

otros homínidos, de múltiples formas y en múltiples geografías, millones de años antes, incluyendo la construcción de refugios con piedra y materiales perecederos, el uso controlado del fuego, la dieta omnívora, el desarrollo cerebral hasta alcanzar los 1,230 cc desde el Pleistoceno Medio, variaciones en tamaños según climas y geografías, la elaboración de instrumentos, herramientas y armas eficientes, la cacería de fauna mayor, la elaboración de adornos con partes de la fauna terrestre y marina; todos son contextos arqueológicos que de una forma u otra están presentes en el registro fósil de todos los homínidos desde aproximadamente hace dos millones de años. La cohabitación entre especies homínidas indica también cruzamientos e hibridación, como se muestra con otros casos del reino animal, y un constante y largo fluir del tiempo en el cual ningún homínido, ni el *sapiens*, fue único, ni mejor, ni iniciador de cambios evolutivos originales. Tom Higham, director del *Oxford Radiocarbon Accelerator Unit* en Inglaterra, arqueólogo colaborador en el primer registro del homínido denisovano en Siberia, concluyó que:

> [...] esa naturaleza hibridada se puede extrapolar como analogía a aspectos del comportamiento y la cultura de los humanos... la idea de un *Homo sapiens* excepcionalmente moderno, en posesión de un 'comportamiento moderno', se ha desbancado en años recientes a la luz de las convincentes pruebas de que *neanderthalensis* (y quizás también denisovanos) muestran las mismas habilidades y comportamientos... en este sentido no hay una "revolución 'sorpresiva'" de la cual los humanos modernos sean excepcionalmente responsables.[24]

Para finales del Pleistoceno Medio, todas las variedades de australopiteco ya no aparecen en el registro fósil. El primer fósil de *Homo erectus*,[25] recuperado en Java en 1891, inauguró posteriores recuperaciones paleontológicas que confirman características taxonómicas compartidas con el *sapiens* posterior. Más aún, se ha demostrado que



**© Rafael Pareja.** *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026.

este homínido, considerado alguna vez como transicional hacia el *sapiens*, no solo compartió tiempo y rasgos morfológicos con *sapiens*, sino también la liberación de las manos, a cuya utilidad añadió complejas herramientas una vez que abandonó el hábitat arbóreo. La evidencia procedente de los sitios ocupados por *Homo erectus* sugiere una dieta carnívora, así como el canibalismo: en las cuevas de Choukoutien, el consumo del cerebro y la médula de otros homínidos por *Homo erectus pekinensis* quedó empíricamente comprobado.

Cazador y carnívoro que recurría al fuego no solo para preparar alimentos, y se movilizaba bípedamente por diversas geografías, *Homo erectus* llevó la elaboración de herramientas a niveles antes desconocidos en el registro fósil. Richard E. Leakey, con el acopio del variado herramental asociado a un espécimen de *Homo erectus* en Olduvai, Kenia, argumentó que se trató de un género aparte, con una antigüedad aproximada de 1.6 millones de años, y lo bautizó *Homo Habilis*. Leakey y su equipo de investigadores se introdujeron así en discusiones sobre *Homo erectus* y la evolución homínida (con Raymond Dart, Konrad Lorenz y Robert Ardrey, entre otros), acerca de si este animal erecto que usaba herramientas mostraba signos de que ya no podía cohabitar armoniosamente con otros de su especie ni con la biodiversidad circundante.[26]

El registro fósil de *Homo habilis*, para algunos taxonómicamente incorporado a la especie *Homo erectus*, y lo que se describe como sus sofisticadas técnicas en la elaboración de instrumentos, herramientas y armas, también admite otra pregunta:



© **Rafael Pareja.** *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026.

¿inicia con *Homo erectus* el tiempo actual en el que las herramientas (es decir, la cultura de la técnica) empiezan su dominio sobre el *sapiens*?[27] O, en otras palabras: ¿el dominio homínido del perfeccionamiento herramental utilitario inicial –asociado a *Homo erectus*–, al modificar y someter radicalmente el entorno habitacional, es el antecedente de la era actual en la que el dominio técnico pone en peligro no solo la supervivencia del *sapiens* sino de toda la diversidad animal que comparte el planeta con él?

La paleoantropología pareciera narrar, con el registro fósil, una historia no del ascenso evolutivo del *sapiens* sino de su caída, alejándolo de una perfección evolutiva que fue imaginaria.

**4.**

Con un tiempo insignificante –menos del uno por ciento del total desde que científicos de diversas especialidades registran la vida animal en el planeta–, *Homo sapiens* se muestra actualmente como el último homínido presente, aunque también como una especie cuya población ha excedido ya, o excederá en corto tiempo, la capacidad del planeta para sostenerla.[28] Sus 300,000 años de existencia llevan implícita la ferocidad de lo biológico.

*Sapiens* aparece en el registro fósil del Paleolítico Medio hace aproximadamente 300,000 a 350,000 años, con variaciones según la geografía del hallazgo. Entre hace 250,000 y 40,000 años, *sapiens* compartió territorio –principalmente en Europa y el Levante– con otras especies del género *Homo,* como *neanderthalensis*, en periodos de convivencia estimados entre 2,500 y 5,000 años. Lo mismo ocurrió con los denisovanos, cuyo registro fósil en Siberia inicia hace aproximadamente 200,000 años.[29] Los denisovanos desaparecen del registro fósil hace entre 51,000 y 55,000 años, pero no del registro genético de poblaciones contemporáneas de *Homo sapiens sapiens*. *Neanderthalensis*, de igual manera, persistió en el registro fósil hasta su desaparición hace aproximadamente entre 40,000 y 60,000. Estudios genéticos muestran que hubo entrecruzamiento o hibridación entre variedades homínidas durante ese largo periodo de cohabitación, y que homínidos extintos persisten en el genoma de diversas poblaciones actuales. El planeta albergó así, con poblaciones pequeñas, al menos nueve subespecies de homínidos contemporáneos entre sí, lo que introdujo además un nuevo caos de nomenclaturas en la paleoantropología: *Homo luzonensis*, por fósiles recuperados en Filipinas; *Homo floresiensis*, recuperado en Indonesia; *Homo heidelbergensis*, de Europa y Asia; *Homo naledi*, de Sudáfrica; *Homo rudolfensis*; *Homo habilis;* y, junto a ellos, *neanderthalensis*, los denisovanos y *Homo erectus*.

Y así también la necesidad de reformular la pregunta sobre las condiciones que llevaron a la extinción de otras subespecies humanas: factores demográficos, aleatorios y fortuitos entran ahora en la ecuación, y no un destino evolutivo de superioridad que decidiera la supervivencia de una sola especie, como suponía el esquema anterior.[30]

"No estuvimos solos" es la lección actual de la paleoantropología, aunque somos los únicos del género *Homo* que aún no se han extinguido. Ese "aún" es esencial, porque el registro fósil confirma empíricamente lo que Carl Sagan ya había advertido: la extinción es la regla y la supervivencia la excepción para todos en el reino animal.[31] Nosotros incluidos.

## N O T A

[1] Del título en español del libro originalmente en francés de Jacques Derrida (2008), *L'animal que donc je suis*. España: Trotta.

[2] El "origen" del hombre, algo así como el autor-dios de la vida del *sapiens*, supone un comienzo o garantía divina, y remite a lo postulado



© **Rafael Pareja.** *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026.

por filósofos como Derrida: no hay comienzo sino interpretaciones inherentes en la textualidad con la que se expresan. Aludo a ello en mi ensayo: *El maíz: y vengo yo también a contradecir*. Cuadernos de *Elementos* No. 14, *Elementos BUAP,* febrero 2023 (https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000008267.pdf).

[3] Mantengo esta nomenclatura equívoca porque así es referida la "humanidad" en los textos paleoantropológicos, sin distinción de género. El intercambio de la nomenclatura *Homo sapiens* por "humano" en esa literatura requeriría también un análisis crítico que este ensayo no aborda.

[4] La clasificación taxonómica del *sapiens* es: reino: animal; filum: cordados; subfilum: vertebrados; clase: mamíferos; subclase: euteros; infraclase: placentarios; orden: primates; suborden: antropoides; infraorden: catarrinos; superfamilia: hominoides; familia: homínidos; género: *Homo*; especie: *sapiens*; variedad: *sapiens*.

[5] Para una discusión sobre la clasificación taxonómica, ver Ereshefsky, M (2001), *The poverty of the Linnaean hierarchy : a philosophical study of biological taxonomy.* Cambridge Universitiy Press.

[6] G.G. Simpson, *The meaning of taxonomic statements*, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research. New York.

[7] Las secuencias del tiempo prehistórico de homínidos no solo varían según la región, sino que dan lugar a una diversidad de nomenclaturas taxonómicas. La secuencia basada en hallazgos de Lomekwi, Kenia, data el inicio del Paleolítico hace aproximadamente 3.3 millones años, correspondiente a las primeras herramientas asociadas a fósiles. El Paleolítico Medio inicia hace aproximadamente entre 300,000 y 350,000 años y concluye entre hace 40,000 y 50,000 años, cuando comienza el Paleolítico Superior. Este se divide en etapas posteriores: el mesolítico, que inicia aproximadamente hace 15,000 años, y el neolítico, que inicia aproximadamente hace 10,000 años. Esta secuencia, a diferencia de la geológica, se construye sobre los hallazgos arqueológicos de fósiles de homínidos asociados a herramientas de piedra y evidencias de vida nómada o sedentaria.

[8] El tiempo geológico se estima a partir de los primeros sedimentos terrestres conservados, datados hace aproximadamente 3,700 millones a 4,000 millones de años. Los principales bloques de tiempo se denominan eras, que concluyen con cambios geológicos y climáticos drásticos denominados revoluciones. Los cambios menores se denominan disturbios, ocurren dentro de las eras y son referidos en la literatura como épocas o periodos. La aparición y evolución de los primates, según el registro fósil, ocurre durante la última era geológica, la Cenozoica, que se subdivide en siete épocas: Paleoceno (hace 66 millones de años), Eoceno (hace 56 millones de años), Oligoceno (hace 34 millones de años), Mioceno (hace 23 millones de años), Plioceno (hace 5.3 millones de años), Pleistoceno (hace 2.6 millones de años, correspondiente al tiempo de aparición de los primeros homínidos del género *Homo* y Holoceno, que inicia hace aproximadamente 11,700 años. El Antropoceno, término acuñado en el año 2000 por el químico y premio Nobel Paul Crutzen y el biólogo Eugene Stoermer, está en discusión como nueva época geológica en la que las actividades humanas han alterado permanentemente los ecosistemas, el clima y los ciclos naturales de la Tierra.

[9] Enlistaré solo algunos de los más recurrentes: datación por componentes fisicoquímicos –cálculo de la desintegración de cinco minerales radiactivos en plomo no radiactivo en rocas–; carbono-14, que aplica el mismo principio de desintegración radiactiva a material orgánico); palinología o análisis de polen; análisis de coprolitos; dendrocronología; climatología; recursos paleontológicos, que incluyen el reconocimiento de flora y fauna circundante; y, crecientemente, investigaciones genéticas a partir de los propios fósiles y de residuos de ADN en suelos.

[10] Con el mismo principio del fechamiento por carbono-14, el método de uranio o serie-U puede dar fechamientos aproximados de fósiles de hasta 500,000 años. Para una explicación técnica de estos procedimientos, ver Higham, T. (2021), *The World Before Us: how Science is Revealing a New Story of our Human Origins*, capítulo nueve, Penguin Books, Reino Unido. Tom Higham, profesor de arqueología en la Universidad de Oxford, es también el director del Oxford Radiocarbon Accelerator Unit, el principal laboratorio para el fechamiento de material óseo en excavaciones de fósiles en curso.

[11] Los primates más antiguos se registran en el Mioceno y corresponden a formas ancestrales de orangutanes, chimpancés y gorilas, clasificados en parte por exhibir el patrón Y-5 en sus molares (característica que define a los *Dryopithecus*). De las excavaciones de Richard Leakey en Kenia, continúa siendo contencioso el género asignado al fósil *Proconsul*, fechado entre 18 millones de años y 19.7 millones de años. Con su propia historia clasificatoria contenciosa están los restos fósiles de *Oreopithecus* –excavado en Toscana, Italia, inicialmente en 1872–, fechado hace aproximadamente 13 millones de años, y el más discutido *Ramapithecus*, clasificado durante décadas como precursor en la línea evolutiva de *Homo sapiens*, con una antigüedad de 12 a 14 millones de años.

[12] "...por qué el mundo exterior, en el sentido ingenuo y obvio, debe concurrir en las regularidades de los postulados con las expectativas matemáticas y regulares de la racionalidad investigadora, nadie sabe", reflexiona George Steiner. Ver *Real Presences*, University of Chicago Press, Chicago, 1989, pp. 69-71 (la traducción es mía; existe edición en español).

[13] Esto quiere decir elementos morfológicos y funcionales similares: comparativos en serología o análisis de proteínas séricas que

relacionan al *Homo sapiens* en cercanía con simios y monos, secuencias estratigráficas, desarrollo ontogenético o embrionario, y geocronologías similares.

[14] Ver, por ejemplo, Higham, T. (2021), *The World Before Us: how Science is Revealing a New Story of our Human Origins*, Penguin Books, Reino Unido.

[15] Shipman, P. *The Invaders: How Humans and their Dogs drove Neanderthalensis to Extinction*, Cambridge, Harvard University Press, 2015.

[16] Omito referencias a *Ramapithecus* de la nota 11. De este ejemplar se ha recuperado una parte de la derecha del maxilar superior con dos premolares y dos molares, además de dientes dispersos. Ver Jolly, C.J., "The Seed Eaters: a New Model of Hominid Differentiation Based on a Baboon Analogy", en Man, vol. 5, 1970, pp. 5-26. Un espécimen similar excavado por el equipo de Leakey en África ha sido fechado con una antigüedad de 14 millones de años. Persiste una brecha sin hallazgos fósiles de aproximadamente 6 a 8 millones de años, así como la discusión sobre el lugar taxonómico de *Ramapithecus* entre los homínidos.

[17] Esta discusión se centra actualmente en torno a *Paranthropus*, recuperado en Chad y fechado entre 1.2 y 0.6 millones de años, y *Australopithecus garhi* recuperado en Etiopía y fechado aproximadamente hace 2.5 millones de años. Ver Villmoare, B. *et al*. (2026), New Discoveries of *Australopithecus* and *Homo* from Ledi-Geraru, Ethiopia. *Nature* 650:374-380.

[18] El género *Australopithecus*, a partir de 1936, agrupa fósiles excavados en Sterkfontein, Makapansgat, Swartkrans y Kromdraai, en Sudáfrica. Dart, sin embargo, anota diferencias sustanciales que fueron ignoradas cuando dirigió excavaciones en Makapansgat en 1951: describe coloración por fuego en huesos animales asociados y clasifica taxonómicamente ese especimen como *A. prometheus*. Actualmente queda incluido provisionalmente, sin que esas diferencias hayan sido resueltas, como *A. africanus*.

[19] No hay correlación entre tamaño cerebral y habilidad mental excepto en casos de patología. El tamaño cerebral medio actual de *Homo sapiens* ronda los 1,500 cc en machos y unos 50 cc menos en hembras. Fósiles de *Australopithecus* exhiben entre 450 cc y 700 cc, ligeramente mayor que el de un chimpancé, pero equivalente al de los gorilas. *Homo neanderthalensis* registra, además, un cerebro ligeramente más grande que el del *sapiens*.

[20] Dart, R.A. (1949), The predatory implemental technique of *Australopithecus*, *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 7, pp. 1-16.

[21] Ardrey, R. (1953), African Genesis. *International Anthropological and Linguistic Reviews*, vol. 1.

[22] Higham, T. (2022). *The World Before Us: How Science is Revealing a New Story of Our Human Origins.* Penguin Books, Reino Unido, p. 234.

[23] Higham, T., *op. cit*., capítulo 14.

[24] Higham, T., *op. cit,*. p. 236.

[25] *Homo erectus* es contemporáneo en Eurasia con denisovanos y *sapiens*, lo que implica no solo cohabitación, sino la posibilidad de cruzamientos entre denisovanos, *Homo sapiens*, y probablemente con *Homo erectus*. El papel que jugó *Homo sapiens* en la desaparición



**© Rafael Pareja.** *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026.

de *Homo erectus* del registro fósil es aún indeterminado. Ver: Rizal, Y. *et al*. (2020), Last Appearance of *Homo erectus* at Ngandong, Java, 117-108,000 years ago. *Nature* 577:381-385; Storm, P. (2005), Late Pleistocene *Homo sapiens* in tropical rainforest fauna in East Java. *Journal of Human Evolution* 49(4):536-545; Higham, T, *op. cit*., para un resumen y actualización de esta discusión.

[26] Leakey, R., Lewin, R. (1977), *Origins*. E.P. Dutton, New York.

[27] Retomo las reflexiones de Ivan Illich sobre nuestra actual condición social. Ver Illich, I. (2006), La Herramienta y la Crisis. En *Obras Reunidas*. Fondo de Cultura Económica, México. La referencia obligada para esta reflexión es Heidegger, M. (1962), *Die Technik und die Kehre*. Neske, traducido al español por Oscar Terán como *La cuestión de la técnica*, en *Espacios* 3, BUAP.

[28] La especie *sapiens*, perteneciente al género *Homo* que emerge en África hace aproximadamente 2.5 millones de años, emigró de África en varias oleadas según la teoría dominante: una se registra hace 160,000 años y otra hace 60,000 años. La ruta plausible según el registro fósil fue cruzando la península del Sinaí hacia el Levante –Palestina, Líbano, Jordania y Siria– o a través del estrecho de Bab al-Mandab, en el sur de la península arábiga.

[29] Para un recuento detallado de las técnicas de excavación y fechamiento de los denisovanos en Siberia, ver Higham, T., *op. cit*.; ver también: Castro e Silva, M.A. *et al*. (2026), The evolutionary history and unique genetic diversity of Indigenous Americans, *Nature* 653:134-145. Disponoble en: https://www.nature.com/articles/s41586-026-10406-w.

[30] Higham, T., *op. cit*., pp. 218-219.

[31] Sagan, C. (2006), The varieties of scientific experience: A personal search for God. Penguin Books, Reino Unido. Ver también el capítulo 15 del libro citado de Tom Higham: *Disappearing from the world*.

***Anamaría Ashwell***
***Centro de Investigaciones Filosóficas***
***Instituto de Ciencias***
***Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades***
***"Alfonso Velez Pliego", entre 1978-2000***
***aashwell@gmail.com***

© **Rafael Pareja.** *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026.



www.elementos.buap.mx

# La inteligencia de los pulpos

Martha **León-Olea**

En 2010, mientras el mundo seguía el Mundial de Sudáfrica, un pulpo (*Octopus vulgaris*) llamado Paul se convirtió en celebridad. Vivía en el acuario Sea Life de Oberhausen, Alemania. Daniel Fey, su cuidador, y otros miembros del equipo del acuario, para entretener a los visitantes, antes de cada partido del Mundial colocaban dos cajas transparentes con un mejillón en cada una y, también, en cada caja la bandera de cada uno de los dos equipos que estaban por enfrentarse. Paul simplemente abría una de las cajas para comer el mejillón. La primera caja que abría se interpretaba como su "predicción", y comenzó a acertar. Lo curioso es que, pasados los días, siguió acertando. Acertó los seis partidos de Alemania, su derrota frente a España en semifinales y la victoria de España sobre Países Bajos en la final. En total, ocho predicciones consecutivas correctas –la prensa internacional enloqueció. Lo que comenzó como una actividad para entretener a los visitantes terminó captando la atención de millones de personas en todo el mundo.

¿Realmente adivinaba? Desde un punto de vista estadístico, ocho aciertos consecutivos tienen una probabilidad de uno entre 256. Es una racha poco frecuente, pero perfectamente posible por azar. Para ponerlo en perspectiva, acertar el Melate en México tiene una probabilidad cercana a uno entre 32 millones. Es decir, resulta más de cien mil veces más difícil ganar el Melate que repetir la racha de aciertos de Paul.



© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

Lo sorprendente es que la verdadera historia de los pulpos resulta mucho más extraordinaria que esa leyenda. Mientras millones de personas discutían si Paul era un adivino, los neurobiólogos llevaban décadas descubriendo algo más fascinante: estos animales poseen uno de los sistemas nerviosos más complejos del reino animal y resolvieron el problema de construir una inteligencia siguiendo un camino evolutivo completamente distinto al nuestro.

Los pulpos son moluscos cefalópodos: animales marinos de cuerpo blando, ocho brazos flexibles y una extraordinaria capacidad para transformar el color y la textura de su piel. Son depredadores, maestros del camuflaje y seres con una gran capacidad de resolución de problemas; representan una de las especies más interesantes, ya que son criaturas sorprendentes, casi mágicas por sus cualidades de camuflaje, movilidad e inteligencia.

Se conocen alrededor de 300 especies de pulpos, entre ellas el *Octopus vulgaris*, el pulpo de anillos azules (Hapalochlaena) –famoso por su toxicidad– y el *Octopus maya*, endémico de la península de Yucatán, de gran importancia pesquera y muy solicitado en la cocina mexicana.

Su fama reciente no depende solo de Paul. Libros como *Other Minds*, de Peter Godfrey-Smith, y documentales como *My Octopus Teacher* y *Secrets of the Octopus* han influido enormemente en el interés público sobre estos moluscos y en la divulgación de los conceptos sobre la inteligencia de los cefalópodos y de los pulpos en particular, mostrando el uso de herramientas, estrategias de caza, el establecimiento de conductas sociales y el maravilloso camuflaje, que radica no solamente en el cambio de colores, sino también de la textura de la piel para igualar su entorno y hacerse invisibles a sus depredadores, o también, en ocasiones, hacerse visibles, como en el caso del pulpo de anillos azules (Hapalochlaena), que expone sus anillos con más brillo como aviso de peligro a sus depredadores, ya que contienen una neurotoxina muy potente que los mataría en minutos.

El riesgo es confundir una historia atractiva con una prueba de inteligencia. Abrir un frasco o escapar de un acuario puede ser sorprendente, pero una anécdota



© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

aislada no basta. La evidencia convincente aparece cuando una conducta se estudia de manera controlada y reproducible. Comparar directamente a un pulpo con un primate puede llevarnos por un camino equivocado. Sus linajes se separaron hace más de 500 millones de años, y sus sistemas nerviosos siguieron trayectorias evolutivas independientes. La pregunta no es si el pulpo piensa "como nosotros", sino qué soluciones encontró la evolución para producir aprendizaje flexible en un cuerpo y un cerebro radicalmente distintos.

#### ¿A QUÉ LLAMAMOS INTELIGENCIA?

Aunque parece un concepto sencillo, definirla ha sido uno de los mayores desafíos de la biología, la psicología y la filosofía. No existe una definición única de inteligencia, y el problema se vuelve mayor cuando hablamos de animales no humanos. Desde la neuroetología puede entenderse, de manera operativa, como la capacidad de adquirir información, aprender de la experiencia, conservarla y utilizarla con flexibilidad para resolver problemas o adaptarse a situaciones nuevas. Esta definición evita exigir lenguaje humano o razonamiento abstracto y permite formular preguntas experimentales.

Claro que definir qué tan inteligente es un pulpo es más complejo de lo que parece. Los neuroetólogos, para definir qué tan inteligente es un animal, suelen evaluar diferentes capacidades tales como: aprendizaje, memoria, resolución de problemas, flexibilidad conductual, exploración, conducta de juego y adaptación a situaciones nuevas que impliquen el uso de herramientas.

Las bases para analizar la inteligencia de los cefalópodos comenzaron a establecerse gracias a los trabajos del neurocientífico y zoólogo británico John Z. Young (1907-1997). Mediante estudios de conducta, neuroanatomía y lesiones experimentales, demostró que los pulpos pueden aprender, recordar y resolver problemas; además, identificó regiones cerebrales especializadas en estas funciones, comparables desde el punto de vista funcional –aunque no evolutivo– con algunos centros de integración de los vertebrados (Young, 1961).



© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

Un hecho importante es que el cerebro de estos animales es relativamente grande para su tamaño corporal; posee alrededor de 500 millones de neuronas –el cerebro humano posee aproximadamente 86 mil millones. Tiene una organización compleja para ser un invertebrado; presentan lóbulos especializados y sistemas dedicados al aprendizaje y memoria, uno de los más estudiados es el lóbulo vertical.

A diferencia de los vertebrados, más de la mitad de sus neuronas no se encuentran en el cerebro central, sino en los brazos. En *Octopus vulgaris*, aproximadamente 180 millones de neuronas se localizan en los lóbulos cerebrales, alrededor de 140 millones en los lóbulos ópticos y entre 170 y 200 millones en los ocho brazos. Cada brazo contiene circuitos sensoriales, motores e interneuronas capaces de procesar información de manera local. Esto les permite ejecutar movimientos complejos y explorar el entorno con un notable grado de autonomía, mientras el cerebro central coordina la conducta general.

En otras palabras, el cerebro no controla cada movimiento de forma individual; delega muchas decisiones a los circuitos neuronales distribuidos en los brazos. Además, estos circuitos participan en la percepción táctil, química, el control motor y la exploración activa del entorno. Es decir, están involucrados directamente en la interacción con el mundo externo.

## LOS EXPERIMENTOS DE YOUNG

Young estableció buena parte de las bases experimentales para estudiar el aprendizaje en *Octopus vulgaris*. En tareas de discriminación visual, los cefalópodos se colocaban en acuarios experimentales donde se les mostraban dos estímulos visuales, por ejemplo: un rectángulo horizontal y uno vertical, o un círculo y un cuadrado. Si el pulpo atacaba el estímulo correcto recibía comida, pero si atacaba el incorrecto, no recibía recompensa o recibía un estímulo aversivo leve. Después de múltiples ensayos, disminuían los errores, aumentaba la selección correcta y mantenían el desempeño por encima del azar. Esto demostraba aprendizaje asociativo visual. Cuando se interrumpía el entrenamiento y se evaluaba nuevamente al animal días después, parte de lo aprendido se conservaba. Esto indicaba que poseen memoria a largo plazo (Young, 1961).

Young combinó estas pruebas con estudios anatómicos y lesiones de regiones cerebrales. Una de las estructuras en que concentró su atención fue el lóbulo vertical, parte de un sistema implicado en aprendizaje y memoria. Las lesiones de esta región alteraban ciertas tareas aprendidas sin abolir todas las respuestas sensoriales y motoras. Décadas después, se estudió directamente la fisiología de esta estructura en cortes cerebrales que contenían, además de este lóbulo, sus conexiones aferentes; estimularon estas conexiones y encontraron un fenómeno equivalente funcionalmente a una potenciación duradera de la transmisión sináptica, que se considera como plasticidad neuronal asociada con aprendizaje (Hochner y Shomrat, 2014). También encontraron que posee mecanismos celulares compatibles con almacenamiento de información y que la plasticidad en el lóbulo vertical depende de óxido nítrico (NO) –un neurotransmisor gaseoso presente en los vertebrados hasta el hombre. El NO actúa como modulador de la transmisión sináptica y participa en el mantenimiento de cambios duraderos en la eficacia sináptica. Más recientemente, se estudió el reconocimiento de objetos nuevos en el *Octopus maya* y se observó que no solo usa la visión, sino también la exploración táctil, tal como lo hacen los vertebrados más evolucionados

(Vergara-Ovalle *et al*., 2023). Nuestro grupo reportó una amplia distribución anatómica del NO en el sistema nervioso del *Octopus maya*, en el lóbulo vertical y también en el tejido nervioso de los tentáculos, lo que implica su participación en funciones como aprendizaje, memoria y quimiorecepción olfativa, entre otras (Vergara-Ovalle *et al*., 2024). La presencia del NO en organismos como los moluscos implica que los mecanismos en los que participa esta molécula son ancestrales y se han conservado a través de la evolución, lo cual señala su relevancia funcional.

Con estos resultados experimentales obtenidos en condiciones controladas y en numerosos animales, y considerando el desempeño conductual (aprendizaje y memoria), la complejidad anatómica (localización de lóbulos especializados, ej. lóbulo vertical), fisiológica (plasticidad sináptica de larga duración) y molecular (participación del NO en mecanismos específicos de señalización), se desprende que el argumento más sólido para destacar la inteligencia de los pulpos no es solamente el uso de herramientas ni las anécdotas de comportamiento, sino la existencia de una cadena completa de evidencia que conecta conducta, neuroanatomía, fisiología y mecanismos celulares, algo que muy pocos invertebrados poseen tan bien documentado.

Otra pregunta interesante no es si el pulpo es más inteligente que otros animales, sino cómo evolucionó su inteligencia, ya que los pulpos constituyen uno de los mejores modelos naturales para estudiar cómo la evolución puede generar sistemas nerviosos complejos con funciones sofisticadas, siguiendo un camino completamente diferente al de los vertebrados.

La historia del pulpo Paul despertó la curiosidad por estos animales extraordinarios. La verdadera maravilla no está en la adivinación, sino en que la evolución haya producido, en un molusco, una forma de inteligencia construida por un camino completamente distinto al nuestro. Los pulpos nos obligan a repensar qué significa ser inteligente.



© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.


**AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo fue parcialmente apoyado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y tecnología (CONAHCYT) proyecto: CBF 2023-2024-2154 y por el Instituto Nacional de Psiquiatría R.F.M. proyectos: NC143290 a M L-O y NC-3230 a F P.


## REFERENCIAS


Hochner B and Shomrat T (2014). The neurophysiological basis of learning and memory in an advanced invertebrate: the octopus. In *Cephalopod Cognition* (pp. 72-93). Cambridge University Press. DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9781139058964.007.

Pepperberg IM (2020). The comparative psychology of intelligence: Some thirty years later. *Frontiers in Psychology* 11:973. DOI: https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00973.

Vergara-Ovalle F, Ayala-Guerrero F, Rosas C and Sánchez-Castillo H (2023). Novel object recognition in *Octopus maya*. *Animal Cognition* 26:1065-1072. DOI: https://doi.org/10.1007/s10071-023-01753-6.

Vergara-Ovalle F, León-Olea M, Sánchez-Islas E and Pellicer F (2024). Characterization of nitric oxide in *Octopus maya* nervous system and its potential role in sensory perception. *Biology Open* 13(12):bio061756. DOI: https://doi.org/10.1242/bio.061756.

Young JZ (1961). Learning and discrimination in the octopus. *Biological Reviews* 36:32-96. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1961.tb01432.x.



***Martha León-Olea***
***Dirección de Investigaciones Biomédicas en Salud Mental***
***Instituto Nacional de Psiquiatría "Ramón de la Fuente Muñiz"***
***marthalo@inprf.edu.mx***



© **Rafael Pareja.** *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026.

www.elementos.buap.mx

# El cero: la nada que transformó el mundo

Franklin W. **Peña-Polo**
Leonardo Di **G. Sigalotti**

Pocas contradicciones del pensamiento humano han sido tan profundas, interesantes y provechosas como la creación del cero. El cero es una noción que hace alusión a la nada, sin embargo, a pesar de ello es el cimiento sobre la cual se fundamentan las matemáticas, la ciencia y la tecnología. Es innegable la relevancia estratégica del cero desde el punto de vista histórico y cultural. El cero es uno de los números del sistema binario que ha contribuido al impulso de la era digital y parte fundamental en el desarrollo del cálculo infinitesimal. Sin el cero la física moderna sería inconcebible, el álgebra sería lenta y la computación no podría existir (Kaplan, 2000). Nuestra meta es seguir el desarrollo de esta idea innovadora, rastreándola a través de varias civilizaciones, desde sus humildes inicios como una herramienta práctica para evitar ambigüedades, hasta su reconocimiento como un número con total legitimidad (Boyer, 1944).

El camino recorrido por el cero, desde su invención hasta la aceptación formal como un número, implica sin duda un avance significativo en la abstracción mental. El modo más simple es la representación de la sensibilidad, en el que los órganos sensoriales registran la presencia de estímulos. Por ejemplo, la ausencia de luz se representa con un valor igual a cero, mientras que la presencia de la luz se entiende como un valor distinto de cero. En situaciones de ausencia de estímulos, los órganos sensoriales

se hallan en un estado de reposo inactivo que se expresa como cero. En el siguiente nivel, la representación de la "nada" es concebida como una clase válida de comportamiento, lo cual permite que, con la aparición de las representaciones cuantitativas, un conjunto que no contiene elementos se entienda como vacío o nulo. Por último, el cero da paso al número 0 que está presente en la teoría de números y en las matemáticas. Cada nivel incluye al anterior: concebir el cero como número implica conocer la concepción de los conjuntos vacíos, que a su vez implica conocer la nada como categoría abstracta (Nieder, 2020).

#### EL CERO COMO UNA NECESIDAD DE AUSENCIA Y NO COMO UNA INNOVACIÓN

Antes de que el cero fuera concebido como un número con el que se podía operar, su origen estuvo ligado a un problema puramente práctico. El desarrollo de sistemas numéricos posicionales, donde el valor de un dígito depende de su ubicación, constituyó un avance importante, pero creó un desafío logístico fundamental, trayendo a la mesa la interrogante: ¿cómo indicar una ausencia en una columna específica? Sin una forma de marcar este vacío, números como 301, 310 y 31 podían confundirse fácilmente. La primera representación del cero no fue, por tanto, una idea filosófica sobre el vacío, sino una solución práctica y útil para resolver esta ambigüedad, es decir, una herramienta para garantizar la claridad en el cálculo y la administración.

#### EL MARCADOR DE POSICIÓN BABILÓNICO

El primer precursor conocido del cero como marcador de posición surgió en Mesopotamia. Los babilonios desarrollaron un sofisticado sistema de numeración posicional sexagesimal (base 60); una herencia que aún prevalece en nuestra medición del tiempo y de los ángulos. Inicialmente, para indicar la ausencia de un valor en una columna, simplemente dejaban un espacio en blanco. Sin embargo, esta solución era propensa a errores de transcripción. Alrededor del siglo IV a.C., los escribas comenzaron a utilizar un símbolo específico: dos cuñas inclinadas prensadas en tablillas de arcilla húmeda (Joseph, 2008). En algunos casos, como el del escriba Belban-aplu, se llegaron a usar hasta tres ganchos, lo que sugiere una fase temprana de experimentación antes de la estandarización del símbolo.

El marcador babilónico para el cero era una herramienta interna de notación, no un número en sí mismo. Su función era análoga a un signo de puntuación matemático, pero tenía una limitación crucial: solo se utilizaba en medio de un número, nunca al final. Esto significaba que, aunque se podía distinguir el 206 del 26, la ambigüedad entre cifras como 26 y 260 (26x60) persistía, ya que su valor dependía del contexto.

Otras civilizaciones antiguas desarrollaron conceptos relacionados con el cero o la nulidad, aunque por caminos distintos y con fines diferentes. En el antiguo Egipto, el jeroglífico *nfr*, que también significaba "bello" o "completo", se utilizaba en registros contables para indicar un saldo cero o un estado de equilibrio (Joseph, 2008). Para comprender mejor por qué el sistema egipcio no requería un cero posicional es útil observar la estructura de sus numerales jeroglíficos, como se ilustra en la Figura 1. Sin embargo, el sistema egipcio no puede considerarse un precursor numérico directo, ya que no era posicional y, por lo tanto, no existía la necesidad de un marcador (Kaplan, 2000). En China, los matemáticos utilizaban varillas de conteo dispuestas en un tablero con columnas, y para indicar el cero, simplemente dejaban una columna vacía. Aunque funcional en el tablero, esta notación resultaba ambigua al transcribirse. Mientras algunas culturas desarrollaban herramientas prácticas para señalar la ausencia, otras se enfrentaban a profundas barreras intelectuales o geográficas que las llevaron por caminos muy diferentes.

#### EL CERO AUSENTE

Contrariamente a la creencia popular, el progreso científico no tiene un plan maestro a seguir. Su historia

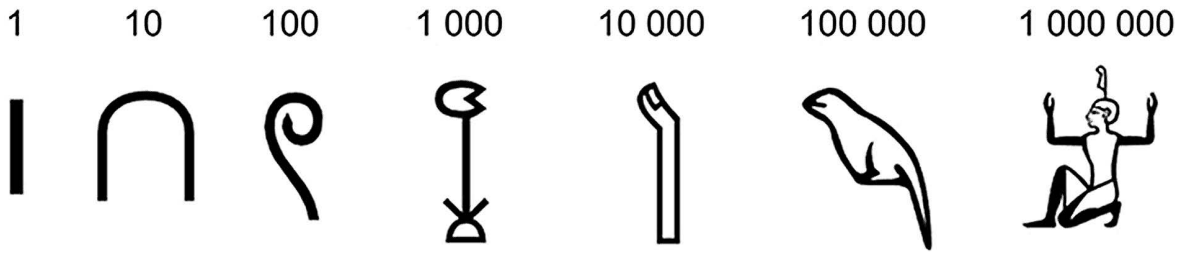



**Figura 1.** Jeroglíficos numerales egipcios. Los jeroglíficos numerales específicos para las potencias de diez incluían: una barra vertical (1), un asa o talón (10), una cuerda enrollada o espiral (100), una flor de loto (1000), un dedo indio (10,000), un pez (100,000) y un hombre con los brazos alzados (1,000,000). (Fuente: elaboración propia.)

está escrita con reveses inesperados, revoluciones y disyuntivas tan fructíferas como decepcionantes. El análisis de casos como el de Grecia clásica y de la civilización maya es crucial para comprender esto. Sus historias demuestran cómo factores culturales, filosóficos y geográficos pueden tanto evitar que se produzca una invención matemática, como en el caso griego, como dar forma a una versión única y aislada de la misma, como ocurrió con la civilización maya.

#### EL CASO DE GRECIA CLÁSICA

Resulta paradójico que una civilización tan avanzada en geometría, lógica y filosofía como la griega no desarrollara un concepto funcional del cero. Ahora bien, la falta de desarrollo de tal concepto no es el resultado de desidia, sino más bien de ciertas barreras apremiantes:

1. Barrera estructural: el sistema numérico griego estándar era alfabético y no posicional. Utilizaban letras como α para el 1 y β para el 2.
2. Barrera cultural: existía una marcada distinción entre la aritmética (la teoría de números, considerada una disciplina noble) y la logística (el cálculo práctico, relegado a los comerciantes). Los mercaderes usaban el ábaco, un dispositivo donde una columna vacía representaba físicamente la ausencia, haciendo redundante un símbolo abstracto.
3. Barrera filosófica: el pensamiento griego tradicionalmente se asocia al *horror vacui*, una aversión al vacío que se asociaba con el no-ser y el caos. En efecto, Aristóteles consideró y rechazó la división por cero como una imposibilidad lógica (Kaplan, 2000).

La única excepción notable se dio en el período helenístico. Astrónomos como Ptolomeo, que trabajaban con el sistema sexagesimal heredado de los babilonios, adoptaron como símbolo para el cero posicional la letra "O". Algunos historiadores sugirieron que se trataba de la letra omicrón (o), inicial de *ouden* ("nada"); otros la asociaron a la depresión circular dejada por una ficha al ser retirada de un tablero de cálculo cubierto de arena (*abax*); mientras un tercer grupo pensaba que era una abreviatura del *obol*, una moneda de valor casi nulo.

#### EL CASO MESOAMERICANO

De manera completamente independiente y aislada del Viejo Mundo, la civilización maya desarrolló un concepto de cero alrededor del siglo IV d.C. Su sistema numérico era posicional y vigesimal (base 20), y su símbolo para el cero, representado a menudo como una concha o un caracol, era un concepto plenamente establecido. A diferencia del marcador babilónico, funcionaba como un marcador de posición completo y también como un número cardinal, como demuestra su uso en los calendarios, donde el primer día de un mes se designaba como "día 0". La civilización maya desarrolló de manera independiente su propio sistema posicional vigesimal (Boyer, 1944).

El motor de esta invención fue una necesidad cosmológica y ritual de asegurar la continuidad de los ciclos temporales, fundamental en su visión del universo. Los mayas temían que el universo pereciera si los ciclos no continuaban. Para asegurar su

continuidad, realizaban complejos rituales. Dentro de su panteón, el dios que supervisaba estos momentos de transición, el Dios del día cero, era también su Dios de la Muerte. Esta conexión transformó el cero maya de una herramienta calendárica en un concepto de inmensa importancia ritual. Sin embargo, su brillante desarrollo tuvo dos limitaciones clave: una irregularidad calendárica en su sistema 18 x 20 en lugar de 20 x 20, que lo hacía menos eficiente para la aritmética general, y su aislamiento geográfico, que impidió que influyera en el resto del mundo (Joseph, 2008; Kaplan, 2000). Mientras los mayas desarrollaban su cero en aislamiento, las barreras filosóficas que habían frenado a los griegos se estaban disolviendo en el subcontinente indio, preparando el escenario para una verdadera revolución.

#### EL LEGADO DE LA INDIA

Fue en la India Antigua donde, gracias a una confluencia única de pensamiento filosófico, rigor matemático y desarrollo simbólico, el cero se transformó de un mero marcador de posición a un número fundamental con plenos derechos aritméticos. Esta fue la concepción que finalmente conquistaría el mundo.

El concepto sánscrito de shunya (vacío) era central en las tradiciones filosóficas como el hinduismo y el budismo. Su etimología es reveladora: proviene de la raíz svi, que significa "crecer" o "hincharse". Esto indica que el vacío no se consideraba como una destrucción, sino como un espacio lleno de posibilidades, listo para generar creación. Este marco filosófico eliminó las barreras conceptuales para aceptar un símbolo que representara matemáticamente la nada. Las formas de los numerales indios evolucionaron a partir de sistemas primitivos (Boyer, 1944; Joseph, 2008; Kaplan, 2000). La Figura 2 ilustra los símbolos indios para el 1, las decenas y el mil, los cuales sentaron las bases del sistema moderno.

El matemático y astrónomo indio Brahmagupta (628 d.C.) fue la figura central que formalizó el cero como un número operable. En su obra fundamental,

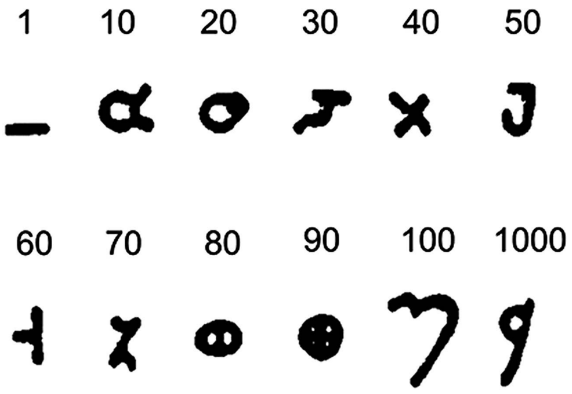



**Figura 2.** Numerales Brahmi/Nagari primitivos. Los símbolos numéricos de la India antigua, que muestran el sistema base 10. Estos glifos evolucionarían hasta convertirse en los números que usamos hoy. (Fuente: elaboración propia.)

*Brahmasphutasiddhanta*, fue el primero en establecer reglas aritméticas claras. No utilizaba el símbolo del círculo, sino palabras como *kha* o *shunya* para referirse al cero. Trató esta idea no como un marcador, sino como una entidad matemática por derecho propio. Sus reglas clave fueron:

1. Definición: el cero es el resultado de restar un número de sí mismo ($a - a = 0$). Esta definición elevó al cero de un concepto pasivo al resultado activo de una operación.
2. Suma y resta: un número no cambia al sumarle o restarle cero ($a + 0 = a$ y $a - 0 = a$).
3. Multiplicación: un número multiplicado por cero es igual a cero ($a \times 0 = 0$).
4. División: realizó el primer intento pionero de abordar el espinoso problema de la división por cero. La definió como una fracción con denominador cero, a la que llamó khacheda. Finalmente, el matemático Bhaskara (c. 1114 d.C.) dominó esta fracción, concibiéndola como una cantidad inmutable, y caracterizando la división por cero como una cantidad meramente infinita, no necesaria mente como el concepto moderno.

El símbolo del cero en la India evolucionó con el tiempo. Las primeras representaciones, como las del manuscrito de Bakhshali, usaban un punto, conocido como *bindu*. Con el tiempo, este punto se transformó en el pequeño círculo "O" que utilizamos hoy. La primera aparición epigráfica indiscutible de este símbolo moderno se encuentra en una inscripción en el templo Chaturbhuj de Gwalior, fechada

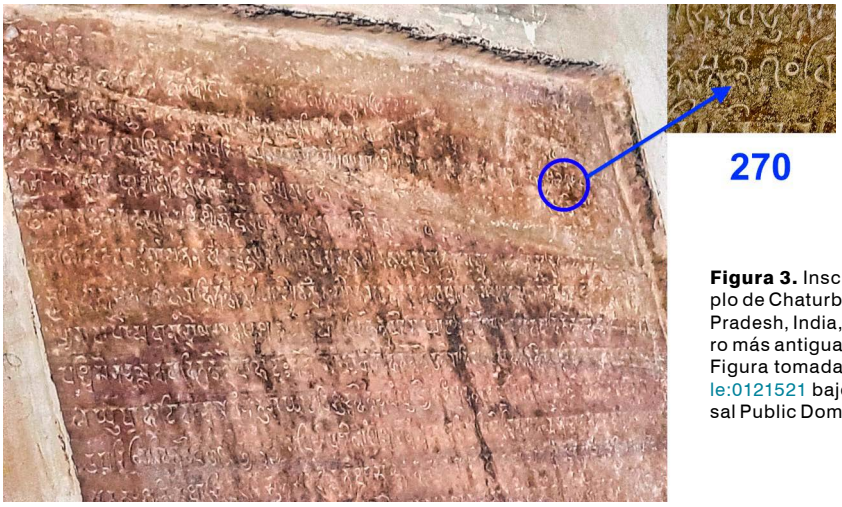



**Figura 3.** Inscripción del siglo IX hallada en el templo de Chaturbhuj de la fortaleza Gwalior en Madhya Pradesh, India, que muestra la representación del cero más antigua de la historia. (Crédito: Sarah Welch. Figura tomada de commons.wikimedia.org/wiki/File:0121521 bajo Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication.)

en el año 876 d.C., donde aparece claramente el número 270 como se puede ver en la Figura 3 (Nieder, 2020). De esta manera, el cero estaba listo para emprender el largo y tortuoso viaje que lo llevaría a Occidente.

### EL MUNDO ISLÁMICO

Un concepto revolucionario no tiene un impacto universal hasta que es transmitido, aceptado y asimilado. Esta fase de la historia del cero es la crónica de su viaje a través del mundo islámico, que actuó como un puente cultural y científico indispensable, y su posterior batalla para ser aceptado en una Europa profundamente renuente, donde tuvo que superar barreras filosóficas, religiosas y prácticas.

Antes que a Europa, el conocimiento matemático de la India llegó a la corte de Bagdad alrededor del año 773 d.C. El matemático persa Mohammed ibn-Musa al-Khwarizmi (c. 825 d.C.) desempeñó un papel fundamental al escribir un influyente libro sobre el cálculo con números indios. Fue a través de él que el cero obtuvo el nombre con que lo conocemos. La palabra sánscrita *shunya* ("vacío") fue traducida al árabe como *sifr* (صفر). Generalmente se considera que *sifr* es una traducción de *shunya*, aunque algunos estudiosos sostienen que es una palabra árabe autóctona que ya denotaba un vacío conceptual. Esta palabra, a su vez, dio origen a dos términos en las lenguas europeas: "cero" y "cifra" (Boyer, 1944; Joseph, 2008).

### EL CERO A LA CONQUISTA DE EUROPA

Europa fue sorprendentemente lenta y hostil en la adopción del sistema indo-árabe. La resistencia se debió a una combinación de factores profundamente arraigados:

1. Resistencia filosófica y religiosa: la herencia del *horror vacui* griego seguía viva. En la Europa medieval, la "nada" se asociaba con el caos, el mal o incluso lo satánico. Aceptar un símbolo para la nada implicaba conflictos teológicos, ya que el vacío se contraponía a la omnipresencia de una deidad.
2. Inercia práctica: el sistema de numeración romano y el uso del ábaco para los cálculos estaban profundamente establecidos. Para muchas tareas comerciales cotidianas, estos métodos parecían más que suficientes.
3. Miedo al fraude: comerciantes y banqueros desconfiaban de los nuevos numerales. Temían que el símbolo "0" pudiera ser alterado fácilmente para convertirlo en un "6" o un '9'. Esta desconfianza llevó a prohibiciones explícitas, como la decretada en Florencia en 1299 (Kaplan, 2000).

La figura clave que impulsó la adopción del sistema en Europa fue el matemático italiano Leonardo de Pisa, más conocido como Fibonacci. Este personaje, que se autodenominaba *Bigollo* (un apodo que podía significar "trotamundos" o "cabeza dura"), reconoció la inmensa superioridad del sistema indo-árabe tras

sus viajes por el norte de África y lo popularizó en su influyente libro *Liber Abaci* (1202). Su obra desató una prolongada "batalla" cultural entre los "abacistas", defensores del tradicional ábaco, y los "algoristas", promotores de los nuevos numerales. Aunque la resistencia duró siglos, la creciente complejidad del comercio y la banca aseguró la victoria final de los algoristas. Una vez que el cero finalmente conquistó Europa, desató una revolución conceptual y práctica que daría forma al mundo moderno.

#### EL LEGADO DE LA NADA

La aceptación del cero fue mucho más que una simple mejora aritmética; fue una revolución conceptual que desbloqueó nuevos universos de pensamiento. Se convirtió en el pilar silencioso sobre el que se edificaron la ciencia y la tecnología modernas, transformando la capacidad para describir, medir y manipular el mundo.

#### LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA Y MATEMÁTICA

El impacto del cero en las matemáticas y la ciencia fue transformador. Su integración fue indispensable para el desarrollo de campos enteros, tales como:

- Álgebra: el cero consolidó el sistema numérico, permitiendo la existencia formal de los números negativos (cantidades menores que "nada").
- Geometría analítica: la creación del plano cartesiano por Descartes depende de un punto de origen, el (0,0), que sirve como referencia para mapear el espacio.
- Cálculo infinitesimal: el desarrollo del cálculo por Isaac Newton y Gottfried Leibniz, la herramienta matemática que fundamenta la física moderna y la ingeniería, sería impensable sin el cero. El concepto de límite, que se aproxima a cero, es fundamental para describir el cambio y el movimiento (Kaplan, 2000).

El legado más tangible del cero en nuestra vida cotidiana es su papel en la tecnología contemporánea. El cero constituye un componente del lenguaje del universo digital. El sistema binario, compuesto únicamente por los estados 0 (apagado) y 1 (encendido), es el código fundamental que subyace en toda la computación. Cada pieza de información que procesamos, desde un correo electrónico hasta los algoritmos de inteligencia artificial, se reduce en su nivel más básico a una secuencia de estos dos dígitos. De ser un símbolo prohibido asociado con el fraude y el caos, el cero se ha convertido en la columna vertebral de nuestro mundo científico y digital.

## REFERENCIAS


Boyer CB (1944). Zero: The Symbol, the Concept, the Number. *National Mathematics Magazine* 18(8):323-330. DOI: https://doi.org/10.2307/3030083.

Joseph GG (2008). A Brief History of Zero. *Tārīkh-e 'Elm: Iranian Journal for the History of Science* 6:37-48. https://www.academia.edu/67794496/A_Brief_History_of_Zero.

Kaplan R (2000). *The Nothing That Is: A Natural History of Zero*. Oxford University Press.

Nieder A (2020). Representing Something Out of Nothing: The Dawning of Zero. *Trends in Cognitive Sciences* 24:1-16. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.08.008.



***Franklin W. Peña-Polo***
***Leonardo Di G. Sigalotti***
***Departamento de Ciencias Básicas***
***Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco***
***franklin.pena@gmail.com***




**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

www.elementos.buap.mx

# La paradoja del *prompting*: por qué no es el futuro de la interacción humano-computadora

Josefina **Guerrero García**
Juan Manuel **González Calleros**

La llamada Interacción Humano-Computadora (IHC) nace como un esfuerzo por alejar a los usuarios del lenguaje de las máquinas. Uno de los ejes centrales de esta disciplina es crear mecanismos de interacción que no dependan de comandos rígidos ni de memorizar palabras, sino de representaciones intuitivas, comprensibles y cercanas al pensamiento humano. Sin embargo, en un giro inesperado, la llegada de la Inteligencia Artificial (IA) generativa nos coloca frente a una paradoja: para obtener resultados de calidad, millones de personas deben aprender a escribir instrucciones precisas conocidas como *prompts*.

Hoy, el *prompting* se ha convertido en la nueva forma de lenguaje de máquina. En este artículo se revisa esa contradicción mediante una revisión histórica de la evolución de las interfaces de usuario, desde los años setenta hasta la actualidad, así como las implicaciones de este retroceso en la búsqueda de interfaces naturales de usuario que permitan a las personas interactuar de forma intuitiva con sistemas digitales utilizando comportamientos humanos cotidianos como la voz, los gestos, el tacto o el movimiento.

Este artículo ofrece una lectura crítica del recorrido histórico que ayuda a entender por qué el *prompting* no es el destino final de la IA generativa, sino una etapa transitoria

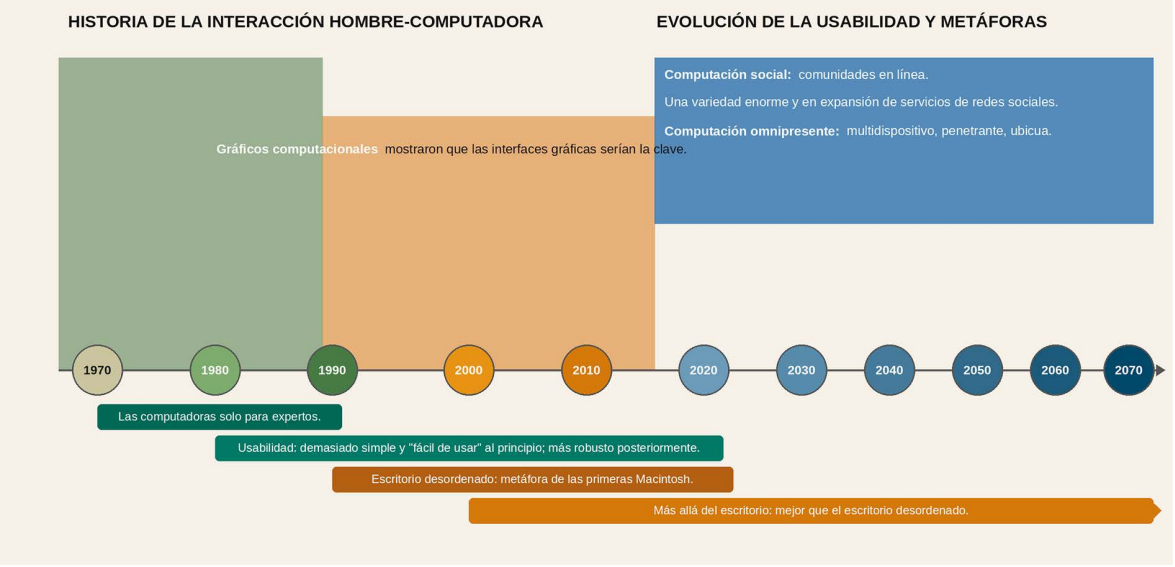



**Figura 1.** Línea del tiempo de la evolución desde los años setenta hasta la actualidad de la Interacción Humano-Computadora.

antes de una nueva revolución en la usabilidad y la comunicación entre personas y sistemas inteligentes.

Para comprender esta paradoja es necesario situarla en su contexto histórico. La evolución de las interfaces no es lineal; desde sus inicios, la IHC ha sido influida por factores sociales, cognitivos, culturales y tecnológicos. La línea del tiempo clásica de la disciplina sistematizada por Grudin (2017), que va desde los primeros experimentos en gráficos computacionales, hasta las experiencias centradas en emociones y dispositivos ubicuos, revela avances constantes en la simplificación de la interacción. Cada década intentó reducir la carga cognitiva del usuario y cerrar la brecha entre capacidades humanas y exigencias computacionales. Por ello resulta especialmente contrastante que la interfaz más avanzada del siglo XXI vuelva a exigir habilidades para escribir instrucciones precisas. Comprender esta tensión permitirá reflexionar sobre cómo deben evolucionar los sistemas de IA para ser realmente accesibles y alineados con la filosofía original de la disciplina.

El *prompting* no es una práctica homogénea: existe un continuo que va desde la conversación cotidiana con un asistente hasta la ingeniería de *prompts* especializada. Este artículo discute la experiencia del usuario promedio que llega a estas herramientas sin formación técnica y descubre, a menudo con frustración, que obtener resultados útiles requiere más habilidad de la que anticipaba.

## LOS AÑOS SETENTA Y EL INICIO DE LAS INTERFACES DE USUARIO MODERNAS

La línea del tiempo histórica de la IHC (Figura 1) ubica el inicio de la disciplina en los primeros experimentos de gráficos computacionales y de operación profesional de sistemas. En los años setenta, las computadoras eran herramientas reservadas para especialistas; la interacción estaba dominada por líneas de comando, terminales monocromáticas y un lenguaje estrictamente técnico. Los modelos cognitivos que surgieron en esta década, como el Modelo Humano-Computadora (Carroll, 2014), representaron los primeros esfuerzos por comprender cómo perciben, procesan y actúan las personas frente a los sistemas informáticos.

En esta etapa inicial, operar una computadora exigía recordar secuencias de comandos y conocer estructuras sintácticas rígidas. Desde entonces surgió la preocupación fundamental que guiaría el desarrollo de la disciplina: reducir la distancia entre las necesidades humanas y las estructuras de control de los sistemas digitales. Los primeros trabajos en factores humanos también surgieron en estos años,

impulsados por la necesidad de hacer más comprensibles y predecibles las acciones del sistema.

Durante los años ochenta las computadoras comenzaron a llegar a un público más amplio, aunque todavía con una carga considerable de complejidad. La línea del tiempo señala esta década como un periodo donde las metáforas visuales comenzaron a reemplazar a los comandos.

La introducción de la metáfora del escritorio, impulsada por sistemas como el Macintosh, transformó la manera de relacionarse con las máquinas. Ya no se trataba únicamente de recordar comandos, sino de manipular objetos gráficos que evocaban elementos familiares del mundo físico. Sin embargo, esta etapa también evidenció limitaciones importantes; el escritorio digital, en muchos casos, se volvió un espacio saturado y caótico. La metáfora funcionaba mientras el número de archivos era reducido, pero conforme aumentaron los documentos y las tareas simultáneas, el espacio dejó de escalar de forma eficiente. Este problema, documentado ampliamente en la literatura, muestra que las soluciones intuitivas requieren un mantenimiento conceptual constante para evitar caer en nuevas formas de complejidad. En estos mismos años comenzó a consolidarse la disciplina de la usabilidad (Cockton, 2014), cuyo propósito era diseñar interacciones que pudieran aprenderse de manera natural, reducir errores y mejorar el rendimiento del usuario promedio. Este enfoque sigue siendo una de las bases fundamentales de la disciplina en la actualidad.

#### EL SURGIMIENTO DE COMUNIDADES Y LA INTERACCIÓN COLABORATIVA

Hacia finales de los años ochenta, la IHC comenzó a integrar perspectivas provenientes de múltiples disciplinas. Psicología, ciencias cognitivas, diseño, ingeniería, comunicación y ciencias sociales confluyeron en un concepto fundamental: la IHC es una comunidad de comunidades. Esto significó que las interfaces ya no podían pensarse únicamente como un asunto técnico, sino como un fenómeno socialmente distribuido.

Durante los años noventa se consolidó una nueva forma de interacción: la comunicación en red. El correo electrónico y la mensajería instantánea transformaron radicalmente la relación entre personas y computadoras. La interfaz ya no solo mostraba información o permitía manipular archivos, sino que conectaba a las personas entre sí. El trabajo colaborativo comenzó a desarrollarse como una práctica regular (Grudin and Poltrock, 2014). Los sistemas ya no se diseñaban para un usuario aislado, sino para grupos que trabajaban de manera simultánea en documentos y tareas distribuidas.

#### LA COMPUTACIÓN UBICUA Y EL ABANDONO DEL ESCRITORIO TRADICIONAL

Al comenzar el siglo XXI, la IHC experimentó uno de los cambios más profundos en su historia: el abandono gradual del escritorio como centro de trabajo digital. La computación ubicua diversificó los dispositivos, los sensores, los contextos y las superficies de interacción (Weiser, 1991). Teléfonos móviles, asistentes virtuales, redes sociales, aplicaciones portátiles y sistemas multisensoriales permitieron que la interacción se volviera ubicua y continua. La interfaz ya no dependía de un monitor o un teclado, sino del entorno físico y de la movilidad humana.

Surgieron entonces las interfaces naturales, que integraban voz, gestos, cámaras y percepción ubicua. Esta tendencia marcó un punto de inflexión. La interacción regresó a formas humanas de comunicación como hablar, señalar o mover el cuerpo. Desde una perspectiva histórica, este momento representó un avance sustancial, pues acercó nuevamente la experiencia digital al comportamiento natural de los usuarios.

#### LA EXPERIENCIA POR ENCIMA DEL DISPOSITIVO

Durante la segunda década del siglo XXI comenzó a consolidarse una visión de diseño centrada en la experiencia (Nielsen, 1994). Los dispositivos ya no eran el objetivo principal, sino el medio para generar emociones, bienestar, fluidez o significado. Esta etapa, descrita en la literatura como diseño experiencial, incorporó elementos estéticos, sensoriales

y afectivos para crear interacciones memorables (Norman, 2013). En este contexto se desarrollaron sistemas que combinaban diseño emocional, accesibilidad, personalización y valores sociales. Esta transición puso de manifiesto que la interacción no depende únicamente de la tecnología, sino de la manera en que las personas interpretan y se relacionan con ella. La satisfacción, la confianza y la sensación de agencia se volvieron elementos cruciales para evaluar la calidad de una interfaz.

### EL RETORNO INESPERADO DE LOS COMANDOS EN LA ERA DE LA IA GENERATIVA

Con la irrupción de la inteligencia artificial generativa reapareció un fenómeno inesperado: los comandos, ahora reformulados como *prompts*; aunque estos poseen capacidades avanzadas para procesar lenguaje natural, su uso efectivo requiere que los usuarios redacten instrucciones específicas. Los *prompts* funcionan como una forma moderna de lenguaje de máquina: basta observar a las personas que piden a un sistema de IA generativa que redacte un correo y descubren que el resultado mejora si especifican el tono, el destinatario, el propósito y la extensión. O quienes generan una imagen notan la diferencia al usar palabras clave como *realista*, *vista aérea* o *iluminación cinematográfica*. Las personas deben aprender a describir tareas, ajustar parámetros, especificar formatos y anticipar posibles interpretaciones erróneas. A diferencia de los lenguajes de comando tradicionales, los *prompts* operan en un espacio híbrido entre lenguaje natural, intención cognitiva y control funcional (Liu *et al*., 2023).

Después de décadas buscando que las máquinas se adaptaran al comportamiento humano, la IA generativa exige que los humanos vuelvan a adaptarse a la máquina; el comando deja de ser una secuencia técnica para convertirse en un acto comunicativo, donde lenguaje, diseño de interacción e inteligencia artificial convergen. En lugar de observar una reducción en la carga cognitiva, aparece un nuevo tipo de alfabetización técnica que no todos los usuarios poseen. Zamfirescu-Pereira y colaboradores (2023) documentaron que usuarios sin formación en IA abordan el diseño de *prompts* de manera oportunista y no sistemática, con dificultades que recuerdan a las ya identificadas en programación para usuarios finales. Esta situación abre una nueva brecha digital entre quienes pueden dominar el *prompting* y quienes no, que, según Park y Gelles-Watnick (2023), sigue las líneas de desigualdad ya conocidas: se usa más entre quienes tienen mayor nivel educativo, mayor ingreso y más experiencia digital previa.

### EL *PROMPTING* COMO ETAPA TRANSITORIA

A pesar de su popularidad, el *prompting* debe entenderse como una fase temporal. La necesidad de formular *prompts* detallados surge porque los modelos actuales no tienen acceso suficiente al contexto personal del usuario. Desconocen el objetivo particular que se persigue, cuál es el estilo preferido, qué nivel de detalle es adecuado o cuál es el enfoque esperado. Ante la ausencia de ese contexto, el usuario debe compensar mediante instrucciones extensas, lo que revaloriza habilidades lingüísticas, cognitivas y metacognitivas que no siempre deberían ser necesarias para interactuar con una herramienta tecnológica.

Sin embargo, cabe esperar que la evolución de los modelos avance hacia mecanismos capaces de inferir intención, comprender contexto y recordar patrones de uso, con lo cual la necesidad de *prompts* explícitos tenderá a transformarse hacia formas e interacción más contextuales y menos visibles para el usuario. El *prompting* no debe ser el destino final de la interacción con IA generativa, sino una etapa transitoria que refleja el estado actual de desarrollo de esta tecnología.

Para reencontrar el camino que la IHC ha seguido durante décadas, el objetivo constante ha sido reducir la carga cognitiva del usuario, por lo que los sistemas de IA deberían avanzar hacia modelos capaces de inferir la intención sin exigir instrucciones textuales detalladas. Así como en una conversación humana basta una frase breve para comunicar una idea, los sistemas de IA podrían aprender a deducir la tarea



© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

subyacente a partir del comportamiento del usuario y del contexto disponible, reduciendo la necesidad de instrucciones textuales extensas. Asimismo, la interacción deberá ser multimodal, ya que si bien el texto es uno de los canales naturales de comunicación humana, el integrar voz, gestos y manipulación directa habilita la posibilidad de interacción a aquellos que no tienen facilidad para la redacción de instrucciones precisas.

En vez de que el usuario formule la instrucción completa, el sistema podría generar los ajustes necesarios a partir de la intención expresada en un modelo de colaboración más cercano a las dinámicas humanas, lo que podríamos llamar autoprompting contextual, es decir, la capacidad del sistema para generarse a sí mismo las instrucciones necesarias a partir de la intención expresada por el usuario, sin que este tenga que formularlas explícitamente.

## CONCLUSIONES

La evolución histórica de la IHC muestra un esfuerzo constante por acercar la tecnología al comportamiento natural de las personas. Desde los gráficos computacionales de los años setenta hasta las interfaces naturales del siglo XXI, la tendencia ha sido favorecer experiencias más intuitivas, más accesibles y centradas en la vida cotidiana. El surgimiento del *prompting* en la era de la IA generativa constituye una anomalía dentro de esta trayectoria. Representa un retorno al lenguaje de máquina que la IHC ha intentado superar.

Sin embargo, esta regresión debe entenderse como una etapa transitoria; todo indica que los sistemas inteligentes tenderán a evolucionar hacia mecanismos que comprendan el contexto, infieran la intención y colaboren con el usuario de manera más humana. Los *prompts* dejarán de ser formulaciones aisladas escritas por el usuario para convertirse en artefactos contextuales, generados y ajustados dinámicamente a partir del historial de interacción, el entorno, el perfil del usuario y la tarea en curso. Cuando esto ocurra, la IA generativa podrá integrarse plenamente en la misión original de la disciplina:



© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

hacer que la tecnología se adapte a las personas y no al revés.

Los autores declaran que el contenido conceptual, argumentativo y bibliográfico de este artículo es de su autoría. En la fase de revisión final se utilizaron herramientas de asistencia lingüística para verificación gramatical y mejora de fluidez, sin afectación del contenido intelectual.

## REFERENCIAS


Carroll JM (2014). *Human Computer Interaction-brief intro.* IxDF-Interaction Design Foundation. https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/human-computer-interaction-brief-intro.

Cockton G (2014). *Usability Evaluation*. IxDF-Interaction Design Foundation. https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/usability-evaluation.

Grudin J and Poltrock S (2014). *Computer Supported Cooperative Work*. IxDF-Interaction Design Foundation. Recuperado de: https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/computer-supported-cooperative-work.

Grudin J (2017). *From tool to partner: The evolution of human-computer interaction*. Morgan & Claypool. DOI: https://doi.org/10.2200/S00745ED1V01Y201612HCI035.

Liu P, Yuan W, Fu J *et al.* (2023). *Pre-train, Prompt, and Predict: A Systematic Survey of Prompting Methods* in Natural Language Processing. ACM Computing Surveys.

Nielsen J (1994). *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann.

Norman D (2013). *The Design of Everyday Things*. MIT Press.

Park E and Gelles-Watnick R (2023). Most Americans haven't used ChatGPT; few think it will have a major impact on their job. *Pew Research Center.* Recuperado de: https://www.pewresearch.org/short-reads/2023/08/28/most-americans-havent-used-chatgpt-few-think-it-will-have-a-major-impact-on-their-job/.

Weiser MD (1991). The computer for the 21st Century. *IEEE Pervasive Computing* 1:19-25.

Zamfirescu-Pereira JD, Wong RY, Hartmann B and Yang Q (2023). Why Johnny can't prompt: How non-AI experts try (and fail) to design LLM prompts. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23)*. ACM: https://doi.org/10.1145/3544548.3581388.



***Josefina Guerrero García***
***Juan Manuel González Calleros***
***Facultad de Ciencias de la Computación***
***Benemérita Universidad Autónoma de Puebla***
***josefina.guerrero@correo.buap.mx***

www.elementos.buap.mx

# Entre arrozales y rascacielos:
## Vietnam hoy

Mara **Gómez**

© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.



© **Rafael Pareja.** *Vender en la calle*. Vietnam, 2026.



Aún no estaba cerca el amanecer. Habíamos llegado de noche, exhaustos, pero el bullicio que subía desde la calle nos empujó a saltar de la cama y mirar por el ventanal. El reloj marcaba las 4:35 de la madrugada y estábamos justo en el centro de Hanoi.

Cinco pisos abajo, sobre las aceras enmarcadas por una retahíla interminable de estrechos edificios franceses del siglo XIX, había una asombrosa cantidad de vendedores: algunos apoyados en sus bicicletas, otros apostados en el suelo, todos con sombreros cónicos de arroz sujetos a la cabeza o colgados sobre los hombros. Ofrecían verduras, frutas, carne y algo de pescado. Pese a la oscuridad, la calle estaba sorprendentemente animada.

De manera casi asombrosa, todo acabó como hora y media después. Los campesinos que habían traído sus productos desde las márgenes del Río Rojo recogieron lo que les quedaba, y los compradores, en su mayoría dueños de casas cercanas y empleados de los hoteles circundantes, se marcharon con sus compras. Por unos instantes, la calma volvió a cubrir las calles de la capital.

Con la entrada de los primeros rayos de sol, comenzó la siguiente algarabía. Esta vez, proveniente de la circulación de autos y de una cantidad ingente, descomunal, de motocicletas. Ninguna grande, pero casi todas con tres, cuatro, ¡y hasta cinco pasajeros!



© **Rafael Pareja.** *Vender en la calle*. Vietnam, 2026.

A veces con niños pequeños, mamás con bebés en brazos y perros en perfecto equilibrio. Todos inmersos en un coordinado y frenético transitar que no se detenía jamás. Y es que en Vietnam el tráfico es como el fluir de los peces en el agua: no paran nunca y no se tocan jamás.

La historia de este país, que hoy se reinventa entre sus tradiciones y la llegada del desarrollo económico, parece estar marcada por sus numerosas guerras. Los chinos los dominaron por casi mil años. Los mongoles intentaron conquistarlos al menos en tres ocasiones. Hacia 1850, llegaron los franceses para apropiarse de sus recursos naturales. Al terminar la Primera Guerra Mundial, fueron invadidos por los japoneses. Más tarde, para apoyar a los franceses, llegaron los norteamericanos, lo que dio lugar a la famosa "Guerra de Vietnam". Después, esta nación entró en una guerra civil, y luego sostuvo otra guerra con Camboya y, finalmente, otra una más con China.

Aunque celebran como día nacional la fecha en que lograron tanto su independencia de Francia como su reunificación, las guerras e invasiones no terminaron sino hasta entrados los años ochenta, hace apenas cuatro décadas.

Si se pudiera describir con una palabra a este pueblo, esa palabra sería resiliencia.

En una callejuela del centro de Saigón nos encontramos con un anciano en una silla desvencijada, junto a una bandera del Việt Cộng. Llevaba puesta su gorra militar. Nos pidió que le hiciéramos una fotografía.Quería nos lleváramos su imagen. Eso y nada más.

Quienes hoy son abuelos pasaron la juventud luchando por su independencia y su identidad; seguramente vieron padecer, sufrir y morir a muchos de los suyos y, sin embargo, consciente o inconscientemente, han decidido no transmitir ese dolor a las nuevas generaciones. Ninguno se asume como víctima. Al contrario, los ancianos vietnamitas son




© **Rafael Pareja.** *Vender en la calle*. Vietnam, 2026.



© **Rafael Pareja.** *Vender en la calle*. Vietnam, 2026.

alegres y amables. Se les ve enteros; tan contentos, que cuesta entenderlo. Aunque es cierto que algunos ocultan algo insondable en la mirada, un no sé qué que conmueve. Como aquel hombre mayor que, instalado bajo una choza del río Mekong, tocaba con su viejo Đàn Bầu –instrumento parecido a una guitarra– canciones tristes y alegres de la guerra.

Es justo a partir de ese difícil y aguerrido pasado que esta nación definió la filosofía que hoy guía su política exterior, la llamada "Diplomacia del Bambú", que puede resumirse con la expresión "raíces firmes, troncos fuertes y ramas flexibles". Esa conducta internacional explica la habilidad de Vietnam para resistir los embates de su difícil ubicación geopolítica sin quebrarse, adaptándose a las tormentas y sin perder su esencia. Me contaron que esas ideas se traducen en cuatro reglas básicas: 1) Vietnam no se unirá a ninguna organización internacional militar; 2) no cooperará con país alguno en contra de otra nación; 3) no usará la fuerza en sus relaciones internacionales; 4) no permitirá el establecimiento de ninguna base militar en su territorio.

Así es como Vietnam ha convertido su vulnerabilidad histórica en una fortaleza estratégica. Es así como pasaron de ser un país pobre, aislado y con escasez de alimentos, a convertirse en un actor emergente que hoy comienza a brillar en la arena internacional.

En los últimos años, la economía de Vietnam ha recorrido una impresionante trayectoria hacia el desarrollo; ha pasado de ser un país agrícola y devastado por las guerras, a una economía dinámica, con alto grado de apertura e integración a la cadena de valor global.

Pese a la inestabilidad económica mundial y al aumento de las tensiones geopolíticas, la economía de Vietnam ha tenido un crecimiento destacado. En 2024, la tasa de crecimiento fue de 7.09 %, en 2025 llegó a 8.02 % y en 2026 apunta al 7.1 %.



© **Rafael Pareja**. *Vender en la calle*. Vietnam, 2026.



© **Rafael Pareja.** *Vender en la calle*. Vietnam, 2026.

Pero, aun en medio de ese vertiginoso crecimiento, este país parece estar decidido a no olvidar aquello que lo ha mantenido en pie durante siglos: sus tradiciones y su identidad. Fue una sorpresa descubrir que, al igual que en México, una de sus costumbres más arraigadas es el culto a los muertos. Las tradiciones ligadas a esta conmemoración juegan un papel crucial en la vida de los vietnamitas, pues creen que los antepasados interceden por ellos desde el "más allá". Por eso, se les construyen altares escalonados con adornos y comida, similares a los nuestros; les hacen ofrendas de todo tipo, y realizan múltiples ceremonias en su honor, que incluyen la quema de ropa de papel y de billetes falsos de euros, dólares y dongs vietnamitas, en pequeños braseros que colocan en la calle. Esa es la forma tradicional de enviar bienes a sus ancestros y mantenerlos felices.

Quizá la segunda tradición más importante en Vietnam es el Festival del *Tết*, que se celebra a fines de enero o principios de febrero y que marca el inicio del Año Nuevo Lunar, coincidente con el calendario chino. Durante esos días se realizan numerosas actividades como limpiar la casa y los negocios, decorar todo con flores de ciruelo o árboles de naranjas chinas –muy típicas–, encender inciensos, preparar comidas especiales para la ocasión y también recordar a los antepasados.

Otra maravilla es su tradición culinaria, reconocida en todo el mundo por su sabor fresco y perfumado. Algunos de los platos más populares son el *pho*, una especie de sopa de fideos de arroz con carne de res o de pollo que se puede desayunar, comer o cenar; y también el *banh mi*, un sándwich vietnamita que combina cerdo asado, verduras encurtidas, mayonesa y cilantro fresco en un baguette crujiente. Pero hay muchísimos platillos más, la mayoría preparados con arroz, todos exquisitos y sumamente sanos. Poco hay que discutir a esto cuando, a primera vista, lo que destaca en los vietnamitas es su saludable delgadez, junto con la tersura de su piel.

No se borra de mis recuerdos el momento en que entramos en la antigua Hoi An, con más de dos mil años de historia. Esta ciudad fue uno de los puertos comerciales más importantes del sudeste asiático y punto fundamental de la Ruta de la Seda. Comerciantes japoneses, indios, chinos, persas y europeos convergían en un ambiente comercial y cosmopolita que, pese al paso del tiempo, aún vibra en sus calles. Además, hoy existen ahí decenas y decenas de sastrerías en las que se puede ordenar la confección de una camisa de playa o de un vestido de novia, en unas cuantas horas, y todo, a precios módicos. Es de no creerse.

Sin embargo, quizá lo que más me sorprendió fue la profunda conexión cultural que existen entre México y Vietnam. Además del respeto a la memoria




© **Rafael Pareja.** *Vender en la calle*. Vietnam, 2026.

Mara **Gómez**



© **Rafael Pareja.** *Vender en la calle*. Vietnam, 2026.

de nuestros muertos y el evidente parecido de ciertos dragones con Quetzalcóatl, los vietnamitas también preparan una especie de tamal envuelto en hoja de plátano, solo que hecho con masa de arroz; enhebran techos de palma que resisten la lluvia; ordenan sus mercados igual que nuestros tianguis; preparan y venden una extraordinaria variedad de comida callejera y, aún hoy, elaboran tejidos en antiquísimos telares de cintura, idénticos a los de nuestras culturas mesoamericanas. Además, también comparten con nosotros una historia marcada por nuestras independencias, por la capacidad de sobreponernos a la adversidad y por un profundo sentido de comunidad, rasgos que siguen vivos en nuestras tradiciones y en la manera en que los vietnamitas y los mexicanos celebramos lo que fuimos y lo que somos.

Aunque quizá la verdadera cercanía entre Vietnam y México se encuentra en esos gestos cotidianos que sobreviven al paso del tiempo: en la comida compartida, en los mercados llenos de vida, en las manos que aún tejen igual que hace milenios, en el respeto por quienes nos precedieron y en la convicción de que siempre es posible volver a empezar.



© **Rafael Pareja**. *Vender en la calle*. Vietnam, 2026.

Coincidencias que no borran nuestras diferencias, pero que sí recuerdan que pueblos lejanos podemos reconocernos unos en otros.

Viajé a Vietnam esperando descubrir un país distante y milenario. No obstante, regresé con la sensación de haber encontrado, entre arrozales inundados, edificios modernos, mercados, telares de cintura, sonrisas, comida fresca y miradas rasgadas, una cálida cercanía que nunca imaginé.

**RAFAEL PAREJA**

En 1994 encontró una cámara en el armario de su hermano. Era una Yashica modelo *Minister-D*. En la universidad, compró una cámara Canon. Sus primeras tomas fueron de paisajes naturales y urbanos. Comenzó como autodidacta, y ya en la era digital estudió en el Centro Internacional de Fotografía y Cine, EFTI, en Madrid, donde adquirió no solo conocimientos sino, sobre todo, pasión por la fotografía.

Aprendió que, a veces, menos es más; que la mirada del fotógrafo es única; y que lo más importante no es hacer fotografías "bonitas", sino conseguir que la imagen no deje indiferente al espectador. Algunas de sus fotos han sido publicadas en la revista *Voices of México*, editada por la Universidad Nacional Autónoma de México y en el. En este número de *Elementos,* presentamos su serie *Vietnam.*

© **Rafael Pareja.** *Vender en la calle*. Vietnam, 2026.



www.elementos.buap.mx

# De la tierra al laboratorio:
## bacterias que fabrican antibióticos

Fernando **Juárez-Vallejo**
José Antonio **Cervantes Chávez**

Desde que Alexander Fleming descubrió en 1928 que un hongo llamado *Penicillium* producía una sustancia capaz de matar bacterias –lo que más tarde se conocería como penicilina–, el curso de la medicina cambió para siempre. Este hallazgo marcó el inicio del uso de los antibióticos, un grupo de compuestos que se convirtieron en herramientas clave para combatir enfermedades infecciosas (Davies y Davies, 2010).

Los antibióticos son sustancias que matan bacterias o impiden que se multipliquen. Algunos se obtienen de microorganismos como los hongos o las bacterias, así como de las plantas. Y otros se fabrican en el laboratorio. Estas moléculas alteran funciones básicas de la fisiología del microorganismo blanco que finalmente lo llevan a la muerte.

### ADAPTACIÓN DE LAS BACTERIAS ANTE EL USO DE ANTIBIÓTICOS

Las bacterias, como cualquier ser vivo, tienen estrategias para adaptarse y ser capaces de sobrevivir, incluso frente a los antibióticos. Este comportamiento lo documentó Alexander Fleming en sus primeras investigaciones con la penicilina. Él observó que cuando las bacterias se exponían a dosis bajas del antibiótico, podían desarrollar resistencia; es decir, dejaban de responder al tratamiento y, por lo tanto, el medicamento ya no hacía efecto.




**Figura 1.** Una invencible *Klebsiella pneumoniae*. En esta prueba de laboratorio (antibiograma), los discos blancos contienen distintos antibióticos, como estreptomicina o cefotaxima. El hecho de que la bacteria crezca hasta tocar los discos, sin dejar un "halo" transparente a su alrededor (o dejándolo muy pequeño), demuestra visualmente que se ha vuelto resistente a todos estos medicamentos.

Este proceso de resistencia puede darse tanto dentro del cuerpo humano como en el medio ambiente, y se vuelve especialmente preocupante en lugares como los hospitales. En estos entornos, las bacterias están expuestas frecuentemente a diferentes tipos de antibióticos, lo que favorece que logren evadir su efecto. Cuando esto ocurre, hablamos de bacterias multirresistentes. Las infecciones producidas por este tipo de bacterias son mucho más difíciles de tratar. El problema se agrava aún más cuando algunas bacterias se vuelven resistentes a todos los antibióticos disponibles que elabora la industria farmacéutica; en ese caso, se les conoce como panresistentes.

Esta alarmante invulnerabilidad se puede observar a simple vista en el laboratorio (ver Figura 1). Existe una prueba denominada antibiograma, que se utiliza para determinar el perfil de resistencia o susceptibilidad que tiene una bacteria respecto de los antibióticos disponibles para su control. En una prueba normal, el antibiótico formaría un halo transparente alrededor de cada disco blanco, indicando que logró matar a la bacteria. Sin embargo, una bacteria panresistente crece sin inmutarse hasta tocar el disco (o acercarse mucho), demostrando que el antibiótico es inútil. Esto representa uno de los mayores desafíos para la medicina moderna (O'Neil, 2016).

### EL TEMIDO GRUPO ESKAPE

Las siguientes bacterias han sido identificadas como una amenaza prioritaria debido a su alta resistencia a los antibióticos: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Enterobacter* spp. Este grupo, conocido por el acrónimo ESKAPE, ha sido catalogado por la Organización Mundial de la Salud como de alta prioridad para el desarrollo de nuevas alternativas terapéuticas, dada la creciente resistencia a los antibióticos que presenta en ambientes intrahospitalarios (OMS, 2023).

### ¿CÓMO PODEMOS CONTROLAR A LAS BACTERIAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS?

Frente a esta amenaza creciente, la ciencia ha explorado distintas estrategias para hacerle frente. Una de las más prometedoras es el uso de bacteriófagos, virus que atacan exclusivamente a bacterias. Esta alternativa ha ganado interés en los últimos años por su precisión y efectividad. Sin embargo, su aplicación aún enfrenta importantes desafíos. Por ejemplo, los bacteriófagos son altamente específicos respecto a las cepas bacterianas que infectan, lo que limita su aplicación de forma generalizada. Además, el sistema inmunológico humano puede reconocerlos y neutralizarlos antes de que logren ejercer su efecto terapéutico (Mulani *et al*., 2019).

Otra opción es desarrollar nuevos antibióticos, pero este proceso es extremadamente costoso –puede superar los miles de millones de dólares– y su investigación, desarrollo y aprobación puede tardar más de una década. Por eso, una estrategia más común consiste en modificar los antibióticos ya existentes para mejorar su eficacia frente a bacterias resistentes.

Sin embargo, este método también requiere una inversión considerable y solo unos pocos laboratorios en el mundo se dedican a ello.

Una alternativa más accesible consiste en buscar nuevas fuentes de moléculas con actividad antibiótica. Como enfoque particular, consideramos a las bacterias que viven en el suelo, las cuales son capaces de producir metabolitos secundarios con propiedades antibióticas. Para identificarlas, se recurre a la bioprospección, una estrategia que consiste en explorar ambientes naturales, como suelos, sedimentos o ecosistemas extremos, en busca de microorganismos que produzcan compuestos útiles para la salud. Sin embargo, este camino científico está lleno de obstáculos. Hoy en día, el mayor dolor de cabeza de esta técnica es la alta tasa de redescubrimiento; es decir, invertimos meses de trabajo para aislar una molécula, solo para darnos cuenta, al final, de que es un antibiótico previamente identificado. A esto se suman estrictas barreras regulatorias y una realidad desalentadora: el porcentaje de nuevos compuestos que logra superar las pruebas y llegar a la fase clínica es sumamente bajo (Bilbao, 2023).

A pesar de estos monumentales retos, los hallazgos exitosos en el laboratorio devuelven la esperanza. A diferencia de las bacterias invencibles, resistentes a todos los antibióticos, cuando empleamos los metabolitos extraídos de bacterias aisladas del suelo contra estos patógenos resistentes, el escenario cambia por completo. A simple vista podemos observar cómo estos nuevos compuestos logran "combatir" a la bacteria, formando zonas transparentes en el antibiograma (ver Figura 2).

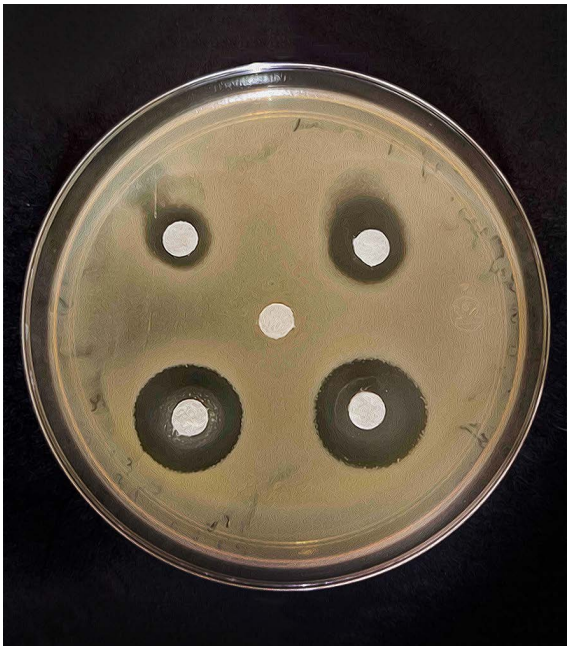


**Figura 2.** El contraataque desde el suelo. A diferencia de los medicamentos comerciales, los metabolitos secundarios extraídos de bacterias terrestres sí logran detener a los patógenos resistentes. En la imagen se observan claros "halos" transparentes alrededor de los extractos, demostrando que la bacteria no pudo crecer en esa zona.

### ¿POR QUÉ USAR A LAS BACTERIAS COMO FÁBRICAS DE AGENTES ANTIBIÓTICOS?

Las bacterias tienen la capacidad de producir moléculas conocidas como metabolitos secundarios, compuestos que no son esenciales para su crecimiento o reproducción, pero que les proporcionan ventajas adaptativas. Entre sus funciones está la inhibición del crecimiento de otros microorganismos, lo que permite a estas bacterias competir por espacio y nutrientes. Varios de estos metabolitos presentan actividad antibiótica y son, de hecho, la base de numerosos antibióticos utilizados en la medicina moderna.

Se estima que en un solo gramo de suelo pueden encontrarse entre un millón y cien millones de bacterias. Esta enorme diversidad microbiana implica un potencial inmenso: millones de especies bacterianas podrían estar produciendo moléculas bioactivas aún no exploradas. Por ello, el suelo representa una fuente valiosa y relativamente accesible para la identificación de compuestos con actividad antibiótica que puedan ayudar a enfrentar el desafío global de la resistencia a los antibióticos (Takahashi y Nakashima, 2018).

### BACTERIAS PRODUCTORAS DE ANTIBIÓTICOS

Dentro de la diversidad bacteriana que habita en el suelo, algunos grupos de bacterias destacan por su capacidad para producir metabolitos con actividad antibiótica. Uno de los más importantes son



**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

los actinomicetos; entre ellos destaca el género *Streptomyces*, que ha sido valioso para la ciencia, ya que aproximadamente el 70 % de los antibióticos de origen natural (estreptomicina, tetraciclina, eritromicina, etc.) fueron aislados de este género. Sin embargo, existen más géneros de bacterias que pueden producir este tipo de moléculas, por ejemplo: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Pantoea*, *Serratia*, entre otros (Genilloud, 2017).

### ¿CÓMO SE GENERA UN ANTIBIÓTICO A PARTIR DE BACTERIAS?

El desarrollo de un metabolito con potencial antibiótico comienza con el aislamiento de bacterias del suelo. Estas se cultivan en condiciones controladas que estimulen la producción de metabolitos secundarios. Posteriormente se prueban de manera general para identificar cuáles están produciendo el efecto esperado: inhibir el crecimiento de bacterias panresistentes.

Una vez que se determina qué bacterias producen las moléculas con capacidad antibiótica, se realiza un proceso de extracción para separar los metabolitos del medio de cultivo. Posteriormente, las bacterias patógenas se retan con dichos extractos para comprobar si mantienen el efecto inhibitorio. Si conservan la actividad, se procede a purificar los compuestos responsables y se determina su estructura química usando técnicas especializadas.

Los compuestos prometedores se someten a pruebas adicionales para evaluar su toxicidad y eficacia, primero en cultivos celulares y, en etapas más avanzadas, en modelos animales. Si los resultados son favorables, se trabaja en mejorar la producción del metabolito de interés para escalarlo a nivel industrial. Paralelamente, se gestionan aspectos legales como la protección por patentes y se inicia el proceso de aprobación regulatoria ante el gobierno correspondiente (Clardy *et al*., 2006). Finalmente, si cumple con los requisitos de eficacia, seguridad y estabilidad, el compuesto puede convertirse en un producto comercial, como un nuevo antibiótico para uso clínico, veterinario o agrícola.

### ¿CÓMO PUEDE AYUDARNOS ESTE ENFOQUE DE PRODUCCIÓN DE NUEVOS ANTIBIÓTICOS?

Explorar nuevas fuentes de antibióticos a través de estrategias como el uso de organismos del suelo representa una alternativa prometedora frente a la creciente amenaza de la resistencia bacteriana. Este enfoque no solo permite acceder a una amplia variedad de compuestos naturales con actividad antibiótica, sino que también ofrece una vía más rápida, accesible y económica en la etapa inicial (descubrimiento de moléculas), en comparación con el desarrollo sintético de nuevos fármacos. Aprovechar el potencial casi ilimitado de microorganismos del suelo, como los actinomicetos, podría marcar la diferencia en la búsqueda de tratamientos efectivos para infecciones causadas por bacterias multirresistentes (Newman y Cragg, 2020).

### EL FUTURO DE LOS ANTIBIÓTICOS

Mirando hacia el futuro, es evidente que el problema de la resistencia no se resolverá con una única solución. Será necesario combinar esfuerzos de distintas disciplinas, incorporar herramientas tecnológicas como la nanotecnología, la fagoterapia (uso de bacteriófagos), el análisis masivo de datos, y mantener una vigilancia estricta sobre el uso racional de los antibióticos ya existentes. Frente a la amenaza constante de bacterias resistentes, la bioprospección es una estrategia con bases sólidas y resultados comprobables. Aprovechar los compuestos que producen los microorganismos del ambiente puede marcar la diferencia en el descubrimiento de nuevos antibióticos, algo que la medicina moderna necesita con urgencia.

© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.




### AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue financiado por Fondo para el Fortalecimiento de la Investigación, Vinculación y Extensión FONFIVE2025; FNB202537 para J.A.C.CH.


## REFERENCIAS


Bilbao Moreno N, Ramírez Roncancio N y Rincón-Riveros WA (2023). Péptidos bioactivos de Streptomyces: una revisión actualizada de su potencial terapéutico. Hechos Microbiológicos 14(2). DOI: https://doi.org/10.17533/udea.hm.v14n2a02.

Clardy J, Fischbach MA and Walsh CT (2006). New antibiotics from bacterial natural products. Nature Biotechnology 24(12):1541-1550. DOI: https://doi.org/10.1038/nbt1266.

Davies J and Davies D (2010). Origins and Evolution of Antibiotic Resistance. Microbiology and Molecular Biology Reviews 74(3):417-433. DOI: https://doi.org/10.1128/MMBR.00016-10.

Genilloud O (2017). Actinomycetes: Still a source of novel antibiotics. Natural Product Reports 34(10):1203-1232. DOI: https://doi.org/10.1039/c7np00026j.

Mulani MS, Kamble EE, Kumkar SN *et al*. (2019). Emerging Strategies to Combat ESKAPE Pathogens: A Review. Frontiers in Microbiology 10:539. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00539.

Newman DJ and Cragg GM (2020). Natural Products as Sources of New Drugs over the Nearly Four Decades from 01/1981 to 09/2019. Journal of Natural Products 83(3):770-803. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.9b01285.

O'Neill J (2016). Tackling Drug-Resistant Infections Globally: Final Report and Recommendations. Review on Antimicrobial Resistance.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2023). Resistencia a los antimicrobianos. OMS Fact Sheets.

Takahashi Y and Nakashima T (2018). Actinomycetes, an Inexhaustible Source of Naturally Occurring Antibiotics. Antibiotics 7(2):45. DOI: https://doi.org/10.3390/antibiotics7020045.



***Fernando Juárez-Vallejo***
***José Antonio Cervantes Chávez***
***Facultad de Ciencias Naturales***
***Universidad Autónoma de Querétaro***
***fjuarez294@gmail.com***

© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.



www.elementos.buap.mx

# Las raíces químicas de nuestras emociones y comportamiento

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

¿Cuántas veces hemos deseado retroceder en el tiempo y regresar al momento más dichoso, ese que nos hace sentir entusiasmados, como cuando vemos a las plantas florecer en días soleados, observando su belleza y fragilidad? Esa misma experiencia nos recuerda que los momentos placenteros son fugaces, al igual que muchas emociones.

Las emociones y sensaciones se generan a partir de una situación determinada y las interpretamos de una forma profundamente personal, en gran medida de manera no consciente. Sin embargo, suelen manifestarse a través de la expresión facial, la postura corporal y la conducta.

Las emociones no solo influyen en nuestro estado de ánimo, sino también en rasgos del carácter, la personalidad y los patrones de respuesta conductual. De este modo, regulan en cierta medida la forma en que respondemos an te situaciones que provocan alegría o placer, así como ante aquellas que generan tristeza, irritabilidad o enojo.

## EXISTENCIA SEROTONÉRGICA

En nuestro Sistema Nervioso Central (SNC) existen diversas sustancias químicas y estructuras celulares involucradas en la síntesis, almacenamiento y liberación de neurotransmisores, los cuales regulan la actividad del sistema nervioso. La actividad cerebral resultante de estas



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

interacciones permite dar respuesta a los distintos estímulos a los que estamos expuestos.

Hace casi un siglo, en Italia, los científicos Vittorio Erspamer y Amedeo Viale descubrieron una sustancia hasta entonces desconocida, producida por células del intestino y con la capacidad de estimular la contracción intestinal, a la que denominaron "enteramina".

En la década de 1940, el científico Irvine Page y su grupo de trabajo identificaron en el plasma sanguíneo una sustancia con efecto vasoconstrictor. A partir de la fusión de las palabras *serum* y *tonic* surgió el término "serotonina". Posteriormente se demostró que la enteramina y la serotonina correspondían a la misma molécula.

Una década después, la bioquímica Betty Twarog demostró que la serotonina estaba presente en el cerebro de mamíferos y que participaba en la comunicación entre neuronas, es decir, que actuaba como neurotransmisor. Este hallazgo marcó un punto de inflexión en el ámbito científico y dio paso al creciente interés por el estudio de la serotonina en el cerebro.

## UNA HIPÓTESIS TEMPRANA

En su búsqueda por comprender cada vez más los mecanismos biológicos implicados en los trastornos del estado de ánimo, los científicos propusieron que la serotonina podría desempeñar un papel central en su regulación. Esta idea fue planteada por investigadores como Alec Coppen, quien resaltó la importancia de las monoaminas y contribuyó a formular la llamada "hipótesis monoaminérgica" de la depresión.

De manera general, esta hipótesis sostenía que alteraciones –en particular disminuciones funcionales– en neurotransmisores como la noradrenalina, la dopamina y, especialmente, la serotonina estaban asociadas con los trastornos del estado de ánimo. Asimismo, sugería que una menor disponibilidad de serotonina podría observarse en pacientes con depresión y ansiedad, sin establecer una relación causal simple o exclusiva.

Aunque en retrospectiva esta idea resulta simplificada, fue fundamental para abrir la puerta al desarrollo de tratamientos en la medicina psiquiátrica. Un ejemplo de ello son los Inhibidores Selectivos de la Recaptura de Serotonina (ISRS), como la fluoxetina, un fármaco utilizado actualmente en el tratamiento de la depresión y diversos trastornos de ansiedad.

El papel de la serotonina en las últimas décadas ha sido relevante y objeto de amplio debate científico. Pero entonces surge la pregunta: ¿por qué la serotonina?

## LA RAÍZ QUÍMICA

Aunque el número de neuronas serotoninérgicas es pequeño en comparación con el total de neuronas del SNC, la serotonina participa en la regulación de múltiples funciones, como la conducta social, la digestión, el sueño, la atención, el estado de ánimo y la ansiedad.

La idea inicial, aparentemente sencilla, deja de serlo al considerar que la serotonina cumple diversas funciones y actúa principalmente como un modulador con múltiples roles, más que como un regulador único de la conducta emocional.

Las características del sistema serotonérgico y muchas de sus funciones se originan en una estructura particular: los núcleos del rafe. Estos núcleos se localizan en el tallo cerebral y, como las raíces de una planta, envían proyecciones que se extienden y

conectan con gran parte del SNC (Ren *et al*., 2018). Entre las principales regiones con las que se conectan se encuentran la corteza prefrontal, asociada con la toma de decisiones; el hipocampo, implicado en la memoria; el tálamo, relacionado con el estado de alerta y la conciencia; y la amígdala, involucrada en las respuestas emocionales, incluida la ansiedad, entre otras.

La serotonina se forma a partir del triptófano, un aminoácido esencial que se obtiene a través de la dieta. Sin embargo, al considerar sus funciones y metabolismo, existen puntos clave que deben destacarse. El triptófano se ingiere mediante alimentos como pavo, pollo, cerdo, carnes rojas, pescado, huevos, leche, frijoles, nueces y avena. Aunque este aminoácido participa en diversas rutas metabólicas, una de ellas es la síntesis de serotonina (Parajulee y Kim *et al*., 2023).

Cuando el triptófano se encuentra en las neuronas adecuadas sufre una serie de transformaciones químicas mediadas por enzimas como la triptófano hidroxilasa (TPH), particularmente la isoforma cerebral TPH2, y la L-aminoácido aromático descarboxilasa. A través de estas reacciones se produce finalmente serotonina en el cerebro (Grifka-Walk *et al*., 2021).

En el SNC existen receptores localizados en la superficie celular a los cuales se une la serotonina. La activación de estos receptores desencadena cascadas de señalización complejas, lo que explica la diversidad de efectos que este neurotransmisor puede ejercer, en contraste con las interpretaciones iniciales más simples.

Así como en la vida existen decisiones que conducen a múltiples caminos –una analogía quizá exagerada–, algo similar ocurre con los neurotransmisores cuando se activan ante un estímulo. Estos pueden interactuar con distintas estructuras cerebrales de diversas formas y con distintos propósitos, dando lugar a respuestas variadas, algunas incluso con efectos opuestos según el contexto.

#### ¿BAJAS CONCENTRACIONES?

Las raíces de las plantas forman una red compleja que se nutre del suelo y de los nutrientes disponibles;



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

a largo plazo, su objetivo es crecer, florecer y defenderse de plagas que interfieran con su desarrollo. Sin embargo, pensar que la tierra y los nutrientes son los únicos factores que influyen no explica por completo cómo florece una planta.

Durante décadas, la hipótesis monoaminérgica fue la idea predominante tanto en la investigación científica como en la cultura popular, simplificada en la noción de que menos serotonina equivale a ansiedad o depresión. No obstante, esta visión ha sido ampliamente cuestionada. La ansiedad y la depresión son trastornos complejos que involucran factores genéticos, ambientales, sociales y biológicos, además de alteraciones en neurotransmisores, procesos inflamatorios y estrés oxidativo.

Actualmente se comprende que la serotonina interactúa con múltiples circuitos y no actúa de forma lineal. Funciona como un modulador dentro de un ecosistema químico interdependiente, más que como una "hormona de la felicidad" responsable única de los estados afectivos.

Diversos factores ambientales, psicológicos, sociales y biológicos pueden desencadenar un desequilibrio en este entorno cerebral, exponiéndolo a "plagas", como el estrés, que complican la vida diaria y pueden contribuir al desarrollo de trastornos emocionales como la ansiedad y la depresión (Bremshey *et al*., 2024).

Aunque la ansiedad es una emoción natural, cuando se presenta de manera persistente, con cambios conductuales y sensaciones como miedo o angustia desproporcionados respecto al estímulo, puede considerarse un trastorno emocional.

A nivel conductual, la información sensorial sigue distintas vías cerebrales, entre ellas la ruta tálamo-corteza-amígdala, que permite evaluar la relevancia emocional de un estímulo y su posible impacto en la supervivencia. En estos procesos participan neurotransmisores como glutamato, GABA y serotonina, así como hormonas como adrenalina y noradrenalina. También intervienen regiones cerebrales como la corteza prefrontal, el hipocampo y los ganglios basales, que modulan la respuesta motora y conductual.

El cerebro recibe la información y el cuerpo actúa: huir, evitar, atacar o permanecer inmóvil. La serotonina no activa ni desactiva directamente estas respuestas, pero modula la reactividad de áreas como la amígdala y la corteza prefrontal, así como la intensidad y duración de la respuesta al estrés.

Por ello, actualmente se acepta que la ansiedad no se explica por una simple falta de serotonina, sino por una desregulación de circuitos interconectados. Un ejemplo de esta interacción es la relación entre la serotonina y el ácido gamma-aminobutírico (GABA). El GABA es un neurotransmisor inhibidor que contribuye al equilibrio de la actividad neuronal y a estados de relajación (Qian *et al*., 2023). En los núcleos del rafe, neuronas GABAérgicas influyen en la liberación de serotonina, regulando su actividad.

Las alteraciones en estos sistemas pueden contribuir a cambios fisiológicos, psicológicos y conductuales como taquicardia, temblores, miedo, inquietud, sudoración, dificultad para concentrarse o respirar, entre otros.



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

## FLAVONOIDES

Mientras los neurocientíficos se centran en comprender la complejidad de los trastornos emocionales, de forma paralela ha surgido interés en el estudio de plantas y sus componentes activos. Entre ellos se encuentran los flavonoides, un amplio grupo que incluye flavonas, isoflavonas, flavonoles, flavanonas y chalconas.

Los flavonoides son pigmentos naturales ampliamente distribuidos en las plantas, donde cumplen funciones de protección frente a agresiones ambientales. De manera interesante, algunos estudios sugieren que ciertos flavonoides pueden ejercer efectos biológicos en el cerebro, aunque estos efectos no necesariamente replican de forma directa su función en las plantas.

La estructura química de los flavonoides es determinante para sus propiedades biológicas. Dentro de este grupo destacan las flavonas, a las que se les han atribuido actividades antioxidantes, antiinflamatorias, hepatoprotectoras, antivirales, anticancerígenas y neuroprotectoras. Además, estudios preclínicos han explorado su posible papel en trastornos emocionales como la ansiedad y la depresión (German-Ponciano *et al*., 2018).

Una de las flavonas más estudiadas es la crisina, un metabolito secundario presente en Passiflora caerulea y, en menor cantidad, en Matricaria chamomilla. En modelos animales, la crisina ha mostrado influir sobre los sistemas GABAérgico y serotoninérgico, lo que podría relacionarse con efectos ansiolíticos y antidepresivos observados en roedores (Rodríguez-Landa *et al*., 2022).



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

Este flavonoide también ha mostrado propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, así como la capacidad de modular niveles del factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) y del factor de crecimiento nervioso, proteínas involucradas en la supervivencia y plasticidad neuronal (Filho *et al*., 2015).

Los estudios sugieren que la crisina puede atravesar la barrera hematoencefálica y actuar mediante múltiples mecanismos, lo que refuerza la idea de que estos compuestos podrían influir en sistemas de regulación complejos. Sin embargo, la mayor parte de esta evidencia proviene de estudios preclínicos. Existe cierta evidencia que relaciona dietas ricas en flavonoides con efectos positivos sobre el estado de ánimo en estudios en niños y adultos. No obstante, la toxicidad y los posibles efectos adversos rara vez se evalúan de manera exhaustiva, lo que impide garantizar su seguridad en humanos (Khalid *et al*., 2017).

Por ello, no puede asumirse que un compuesto sea seguro únicamente por su origen natural. Estas investigaciones no sugieren que los flavonoides sustituyan los tratamientos actuales, sino que, en todo caso, podrían considerarse como posibles complementos con un papel preventivo o modulador, más que curativo. Así, ciertos componentes de las plantas, como los flavonoides, pueden entenderse metafóricamente como un "abono" potencial para el cerebro, una idea que resulta estimulante, pero que también invita a la cautela.

## CONCLUSIÓN

Los trastornos emocionales representan una raíz compleja en la que convergen múltiples factores aún en estudio. Lo positivo reside en reconocer que el cerebro es un sistema dinámico, sensible a señales ambientales y metabólicas, y quizá, en ese sentido, no somos tan distintos de las plantas.

## REFERENCIAS


Bremshey S, Groß J, Renken K and Masseck OA (2024). The role of serotonin in depression-A historical roundup and future directions. *Journal of Neurochemistry* 168(9):1751-1779.

German-Ponciano LJ, Rosas-Sánchez GU, Rivadeneyra-Domínguez E and Rodríguez-Landa JF (2018). Advances in the Preclinical Study of Some Flavonoids as Potential Antidepressant Agents. *Scientifica*: 2963565.

Grifka-Walk HM, Jenkins BR and Kominsky DJ (2021). Amino Acid Trp: The Far Out Impacts of Host and Commensal Tryptophan Metabolism. *Frontiers in Immunology* 12:653208.

Khalid S, Barfoot KL, May G *et al*. (2017). Effects of Acute Blueberry Flavonoids on Mood in Children and Young Adults. *Nutrients* 9(2):158.

Parajulee A and Kim K (2023). Structural studies of serotonin receptor family. *BMB Reports* 56(10):527–536.

Qian X, Zhao X, Yu L *et al*. (2023). Current status of GABA receptor subtypes in analgesia. *Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie* 168:115800.

Ren J, Friedmann D, Xiong J *et al*. (2018). Anatomically Defined and Functionally Distinct Dorsal Raphe Serotonin Sub-systems. *Cell* 175(2):472-487.

Rodríguez-Landa JF, German-Ponciano LJ, Puga-Olguín A and Olmos-Vázquez OJ (2022). Pharmacological, Neurochemical, and Behavioral Mechanisms Underlying the Anxiolytic- and Antidepressant-like Effects of Flavonoid Chrysin. *Molecules* 27(11):3551.



***Luz María Nicio-Antonio***
***Juan Francisco Rodríguez-Landa***
***Instituto de Neuroetología***
***Universidad Veracruzana, Xalapa***
***maria.nicio@outlook.com***

© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

# Depresión perinatal:
## las caras de un enemigo poco conocido

José Francisco **Camacho Aguilera**
Margarita **Pérez Arredondo**

Desde hace tiempo se ha visto que el periparto (periodo que rodea el parto) puede desencadenar una variedad de alteraciones psiquiátricas, entre las cuales se encuentran la tristeza posparto (también llamada tristeza del bebé, disforia posparto o baby blues), la depresión posparto y la psicosis puerperal. Estos trastornos se engloban en el término "trastornos del estado de ánimo posparto". La tristeza posparto se caracteriza por irritabilidad, ansiedad, insomnio, tristeza y tendencia al llanto, y se presenta entre los 3 y 4 días después del nacimiento, con un pico en el séptimo día y resolución dentro de las dos semanas. Esta condición afecta al 30-75 % de las mujeres es leve, transitoria y no requiere un tratamiento específico. Esta misma tristeza posparto puede ser una manifestación inicial de la depresión posparto, la cual ocurre a nivel global en un 10-25 % de las mujeres que han tenido un parto. La situación de este problema en México es similar, observándose en el 9 % de las mujeres embarazadas y pudiendo aumentar hasta un 13.3 % a los 6 meses posparto (Lara MA *et al*., 2015). Por otro lado, la psicosis posparto (o psicosis puerperal) es una condición rara (0.2 % de los embarazos), pero sus implicaciones son muy graves debido a su asociación con el suicidio materno y el infanticidio. Se caracteriza por cambios de humor rápidos, confusión alternada con períodos de lucidez y psicosis.

| |
|---|
| Historia personal o familiar de depresión, ansiedad o bipolaridad. |
| Abuso en la vida de la madre. |
| Embarazo no deseado. |
| Enfermedad crónica. |
| Múltiples embarazos. |
| Falta de red de apoyo. |
| Violencia doméstica (abuso físico y/o sexual). |
| Mala relación de pareja. |
| Migrante. |
| Bajos niveles de cortisol. |
| Poca satisfacción con la imagen corporal. |
| Obesidad y sobrepeso. |
| Anemia. |
| Diabetes gestacional. |
| Cesárea urgente. |
| Alteraciones del sueño. |
| Nacimiento pretérmino. |
| Bajo peso al nacer. |
| Síndrome premenstrual. |
| Deficiencia de vitamina D. |

**Tabla 1.** Factores de riesgo con mayor evidencia de asociación a la depresión perinatal. Además, también han sido descritos otros muchos factores sociales y obstétricos sobre los que aún debe acumularse una mayor cantidad de evidencia. Basada en Xiao-Hu y Zhi-Hua (2020), Jung-Mei *et al.*, (2023) y Gastaldon *et al.* (2022).

Debido al estigma de las enfermedades mentales y a los sentimientos de culpa, las mujeres no solicitan atención en tiempo oportuno; además, la lactancia puede volverlas renuentes a iniciar algún medicamento por la preocupación acerca de la seguridad de su bebé con el uso de fármacos. De igual forma, familiares y médicos pueden menospreciar o considerar no significativos los síntomas de la depresión posparto, causando una falta de diagnóstico y/o de tratamiento oportuno (Sharma y Sharma, 2012). En nuestro medio, también hay un retraso o nulidad en el diagnóstico, probablemente debido al desconocimiento de las pruebas de tamizaje, al desdén de las manifestaciones clínicas y a la estigmatización de esta condición (Lara MA *et al*., 2015).

#### TAMIZAJE DE LA DEPRESIÓN PERINATAL

En la cuarta edición de la Clasificación de los Trastornos Mentales de la Asociación Psiquiátrica Americana, el DSM-IV, se estipuló un comienzo de la depresión materna en el período posparto. Sin embargo, en su versión más reciente, el DSM-V, de 2013, se reemplazó el término por "periparto", pudiéndose aplicar a todo episodio depresivo de comienzo en el embarazo o hasta las 4 semanas después del parto. Este cambio se debió a que el 50 % de los episodios de depresión posparto comienza en el embarazo, continuándose el problema hacia el período postnatal. La opinión de especialistas en psiquiatría perinatal dice que se debería contemplar hasta un año después del nacimiento como un caso de depresión periparto.

Se desconoce la causa o las causas que producen la depresión perinatal, considerándose una entidad multifactorial. Existen factores de riesgo, como los mostrados en la Tabla 1, que predisponen a la depresión perinatal. Estos factores producen una fluctuación importante en los niveles hormonales, una exagerada liberación de hormonas del estrés y/o un estado inflamatorio crónico.

La lactancia materna se ha observado como un factor de protección para el desarrollo de depresión perinatal, y su duración es inversamente proporcional a los síntomas de depresión: las madres con períodos más cortos de lactancia tienen mayor riesgo de depresión (Xiao-hu y Zhi-hua, 2020; Jung-Mei *et al*., 2023; Gastaldon *et al*., 2022). En México, la situación es similar, encontrando como principales factores de riesgo a las pacientes jóvenes, con baja escolaridad, sin pareja, desempleadas y nivel socioeconómico bajo (Lara *et al*., 2015).

Las mujeres con riesgo de depresión posparto deberán ser identificadas tan pronto como sea posible. Para ello se puede utilizar la Escala de Depresión Postnatal de Edimburgo (EPDS) (Tabla 2).

La EPDS es un instrumento de 10 preguntas que ha sido empleado satisfactoriamente para el

| Queremos saber cómo se siente si está embarazada o ha tenido un bebé recientemente. Por favor, marque la respuesta que más se acerque a cómo se ha sentido en los últimos siete días, no solamente cómo se sienta hoy. |
|---|
| 1. He sido capaz de reír y ver el lado bueno de las cosas. |
| 2. He mirado el futuro con placer. |
| 3. Me han culpado sin necesidad cuando las cosas no salían bien. |
| 4. He estado ansiosa y preocupada sin motivo. |
| 5. He sentido miedo y pánico sin motivo alguno. |
| 6. Las cosas me oprimen o agobian. |
| 7. Me he sentido tan infeliz que he tenido dificultad para dormir. |
| 8. Me he sentido triste y desgraciada. |
| 9. He sido tan infeliz que he estado llorando. |
| 10. He pensado en hacerme daño a mí misma. |

**Tabla 2.** Escala de Depresión Postnatal de Edimburgo para el embarazo y el posparto. Las opciones de respuesta para cada reactivo son siempre las mismas y se califican según se especifica entre paréntesis: a) Sí, la mayoría de las veces (3 puntos); b) Sí, con más frecuencia de lo habitual (2 puntos); c) Sí, pero solo excepcionalmente (1 punto); d) Nunca (0 puntos). Una puntuación total ≥ 13 corresponde a un mayor riesgo de depresión posparto y es recomendable realizar un examen psiquiátrico para determinar con más precisión la condición. Las preguntas 1, 2 y 4 se puntúan en sentido inverso.

tamizaje de depresión periparto (Sharma y Sharma, 2012). Son 10 preguntas con puntajes de 0 a 3 y toma aproximadamente 3 minutos en ser contestada. El momento más indicado para aplicar la EPDS es la octava semana posparto. Por otro lado, en el Reino Unido se ha recomendado a los profesionales de la salud realizar las llamadas Preguntas de Whooley, de las Guías NICE (National Institute for Health and Care Excellence), en todas las valoraciones pre y postnatales. Se realizan dos preguntas; si las respuestas son afirmativas, se realiza una tercera pregunta que apunta a la necesidad de pedir ayuda. Las preguntas son las siguientes: 1) ¿En el último mes se ha sentido desanimada, deprimida o sin esperanza? 2) ¿En el último mes ha sentido que tiene poco interés o que no disfruta? En caso de contestar afirmativamente a las dos anteriores: 3) ¿Siente que necesita ayuda? Si en alguno de estos instrumentos de pesquisa aparecen síntomas depresivos, es necesario considerar el envío a un especialista en psiquiatría. Los síntomas de la depresión perinatal se enlistan en la Tabla 3.

| Estado de ánimo deprimido. |
|---|
| Falta de placer o interés. |
| Trastornos del sueño (insomnio o hipersomnia). |
| Pérdida de peso. |
| Pérdida de energía. |
| Agitación o retraso. |
| Sentimientos de inutilidad o culpa inadecuada. |
| Disminución de la concentración o indecisión. |
| Pensamientos frecuentes de muerte o suicidio. |

**Tabla 3.** Síntomas de la depresión posparto. El diagnóstico de depresión mayor requiere al menos cinco de los síntomas enlistados arriba.

**TRATAMIENTO**

La meta es lograr una mejoría en el estado de ánimo de la madre, por lo que el primer paso es iniciar con estrategias de orden general como interrumpir la ingesta de cafeína, nicotina y alcohol, maximizar los períodos de descanso, emplear técnicas de relajación, ejercicio físico, etcétera. El tratamiento psicológico (incluidos la terapia interpersonal, la terapia cognitivo-conductual y la terapia psicodinámica) puede ser útil, mientras que la efectividad de otras intervenciones como la acupuntura, el ejercicio, la fototerapia y el masaje es muy limitada.

El tratamiento específico de la depresión posparto se divide en dos fases: aguda y de mantenimiento. La meta de la fase aguda es la remisión de los síntomas y la prevención de un episodio, mientras que la meta de la fase de mantenimiento es prevenir la recurrencia de los síntomas y alcanzar un nivel basal de función y calidad de vida. El camino a la recuperación es largo: la fase aguda dura de 8 a 12 semanas, y la de mantenimiento unos 6 a 24 meses o más. Los medicamentos protagonistas son los inhibidores selectivos de la recaptación de serotonina, siempre iniciando con las dosis más bajas. Todas las medicaciones pasan a la leche materna, pero la cantidad difiere considerablemente entre los diferentes fármacos. Existen medicamentos relativamente seguros, como el citalopram, la nortriptilina,



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

la sertralina y la paroxetina, que producen niveles casi indetectables de ellos en suero de los recién nacidos alimentados con seno materno (Sharma y Sharma, 2012). Todas las mujeres con depresión perinatal deberán ser asesoradas sobre su situación, señalándoles que se trata de una enfermedad médica, que existen buenos tratamientos para ello y que no son "menos madres" por experimentarlo. La hospitalización se considera para mujeres con inminente riesgo para ellas mismas o su bebé, o si hay rasgos psicóticos. Debido a que el suicidio es una de las principales causas de muerte materna, los médicos deben investigar la presencia de pensamientos suicidas.

Las mujeres en riesgo de recurrencia de la depresión fuera del período del periparto pueden requerir tratamiento de mantenimiento, especialmente si hay historia de episodios recurrentes (tres o más), episodios crónicos, episodios psicóticos, episodios graves, episodios difíciles de tratar, comorbilidad significativa (psiquiátrica o médica) o recurrencia al discontinuar los antidepresivos (Sharma y Sharma, 2012). Antes de presentarse la depresión perinatal, el asesoramiento durante el embarazo y el posparto es efectivo para la prevención de la depresión perinatal en algunas mujeres. Estas intervenciones se asocian con un 39 % de disminución en la probabilidad de depresión perinatal en mujeres con riesgo de depresión.

**PSICOSIS POSPARTO Y SUICIDIO**

La psicosis posparto ocurre en menos del 0.2 % de las mujeres posparto. Se caracteriza por alucinaciones, delirios, agitación, pensamiento desorganizado, comportamiento inusual e incapacidad para dormir. Muchas veces, las alucinaciones y delirios se centran en el bebé, por lo que es importante detectar esta alteración oportunamente para iniciar tratamiento, a fin de proteger la vida de la madre y del bebé. La psicosis posparto aparece dentro de las dos semanas posteriores al parto o poco antes, y puede ser producto de un trastorno bipolar subyacente. El antecedente de trastorno bipolar o de psicosis posparto previos debe alertar al personal de salud para mantener un bajo umbral de detección y solicitar la valoración psiquiátrica ante el elevado riesgo de suicidio o infanticidio.

La muerte por suicidio es una de las principales causas de mortalidad materna: representa el 20 % de los casos de muerte posparto durante el primer año después del nacimiento. En EE.UU. se estima una incidencia de 1.6 a 4.5 suicidios por cada 100,000 nacimientos. La conducta suicida consiste en la ideación, planeación e intento suicida y suele ser más frecuente durante el embarazo que en el período postnatal. Es de notar que las mujeres muertas por suicidio usaron medios más violentos y letales que aquellas fuera del período perinatal, reflejando el alto grado de estrés y alteraciones psicológicas en estos casos. Entre los factores de riesgo para la conducta suicida están la edad joven, no estar casadas, falta de satisfacción marital, enfermedad del recién nacido, la depresión perinatal, infección por VIH, embarazo no planeado, historia de conducta suicida fuera del embarazo, pobre apoyo social e inestabilidad económica. La depresión perinatal puede aumentar el riesgo de conducta suicida hasta 6.2 veces más que en mujeres posparto sin depresión. La depresión materna se encontró en el 30-50 % de las embarazadas que mueren por suicidio. El antecedente de un episodio depresivo en los últimos 12 meses previos al embarazo se asocia con un aumento de 4.9 veces el riesgo de conducta suicida. La presencia de ansiedad, trastorno bipolar, esquizofrenia, trastorno por

estrés postraumático y trastornos de la personalidad se ha relacionado con los intentos suicidas (Chin *et al*., 2022; Orsolini *et al*., 2016). Otros factores relacionados con la conducta suicida son la pobre calidad del sueño, el consumo de alcohol (aumenta el riesgo 3.7 veces), el uso de cannabis, historia de abuso infantil en la madre (aumenta 2.6 veces el riesgo de conducta suicida), violencia de la pareja (aumenta 6.5 veces el riesgo), muerte fetal (5.2 veces), aborto (3.8 veces), la finalización del embarazo (3.1 veces) y la hiperemesis gravídica intensa. Las pacientes con conductas suicidas pueden complicar su embarazo con hemorragia anteparto, desprendimiento de placenta, hemorragia posparto, parto pretérmino, bajo peso al nacer, muerte fetal, pobre crecimiento fetal y anormalidades fetales (Chin *et al*., 2022).

La conducta suicida puede sospecharse en el EPDS con la pregunta 10 ("He pensado en hacerme daño a mí misma") si la respuesta es "con más frecuencia de lo habitual" o "la mayoría de las veces". Toda mujer debería ser monitorizada para conducta suicida durante el embarazo y al menos los primeros 12 meses después del parto (Orsolini *et al*., 2016).

## DEPRESIÓN EN EL PADRE

Un estimado del índice de depresión paterna por el embarazo es del 8.4 % en el primer año posparto, y en un 3.2 % de los casos, ambos padres pueden experimentar depresión perinatal. Entre los factores de riesgo se encuentran la depresión materna (además, la prevalencia de depresión paterna aumenta con la gravedad de la depresión materna), la edad joven, la falta de empleo, un bajo nivel de educación, episodios previos de depresión, eventos estresantes en la vida y problemas en la relación de pareja. Los padres con bajos niveles de testosterona han sido relacionados con síntomas de depresión durante el primer año posparto.

La asociación entre la depresión paterna y el niño se ha investigado poco. Sin embargo, en la sociedad moderna, en la que los padres han incrementado su implicación en el cuidado de los niños, es importante poner atención en el estado emocional de los mismos. Se debe hacer una detección temprana de la depresión del padre para realizar la intervención necesaria (Glasser y Lerner-Geva, 2019; Smythe *et al*., 2022).

La depresión en el hombre y la mujer tiene varias diferencias. Debido a las normas masculinas, los hombres tienden más a "enmascarar" sus síntomas. En lugar de las manifestaciones clásicas de depresión, en los padres hay abuso de sustancias (alcoholismo, consumo de drogas), conductas riesgosas (conducir a alta velocidad) o agresividad e irritabilidad (Chen *et al*., 2023).

## CONCLUSIONES

La depresión perinatal es una entidad que debería ser tamizada en toda embarazada, ya que puede derivar en condiciones graves para la madre (psicosis postnatal, conducta suicida) y para el infante (bajo peso al nacer, parto pretérmino, desarrollo alterado, lactancia acortada, infanticidio, etc.). A nivel global hay un enorme desconocimiento de las pruebas de tamizaje y desdén de las manifestaciones clínicas de las pacientes con depresión perinatal, atribuyéndose a otras situaciones ocurridas en esta etapa. Se requiere un mayor acercamiento a la salud mental de toda mujer embarazada y en puerperio por parte del personal sanitario, para establecer el diagnóstico preciso e iniciar las medidas terapéuticas adecuadas.

© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.





**© Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

Este conocimiento debe ampliarse a la comunidad en general (incluyendo a embarazadas y puérperas), ya que de 1 a 2 de cada 10 pacientes puede estar en esta situación, ignorándola y retrasando la asistencia especializada. Al final, no se trata de una enfermedad rara, sino de un enemigo poco conocido que todos deberíamos enfrentar en conjunto.

## REFERENCIAS


Chen J, Zhao J, Chen X and Zou Z, Ni Z (2023). Paternal perinatal depression: A concept analysis. *Nursing Open* 10:4995-5007.

Chin K, Wendt A, Bennett IM and Bhat A (2022). Suicide and maternal mortality. *Current Psychiatry Reports* 24:239-75.

Gastaldon C, Solmi M, Correll CU *et al.* (2022). Risk factors of postpartum depression and depressive symptoms: Umbrella review of current evidence from systematic reviews and meta-analyses of observational studies. *British Journal of Psychiatry* 221:591-602.

Glasser S and Lerner-Geva L (2019). Focus on fathers: paternal depression in the perinatal period. *Perspectives in Public Health* 139(4):195-8.

Jung-Mei T, Li-Yun T, Shiow-Luan T and Yi-Heng C (2023). The prevalence and risk factors of postpartum depression among women during the early postpartum period: a retrospective secondary data analysis. *Taiwanese Journal of Obstetrics & Gynecology* 62:406-11.

Lara MA, Navarrete L, Nieto L *et al.* (2015). Prevalence and incidence of perinatal depression and depressive symptoms among Mexican women. *Journal of Affective Disorders* 175:18-24.

Orsolini L, Valchera A, Vecchiotti R *et al.* (2016). Suicide during perinatal period: Epidemiology, risk factors, and clinical correlates. *Frontiers in Psychiatry* 7:138.

Sharma V and Sharma P (2012). Postpartum depression: Diagnostic and treatment issues. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Canada* 34(5):436-42.

Smythe KL, Petersen I and Schartau P (2022). Prevalence of perinatal depression and anxiety in both parents. A systematic review and meta-analysis. *JAMA Network Open* 5(6):e2218969.

Xiao-Hu Z and Zhi-Hua Z (2020). Risk factors for postpartum depression: An evidence-based systematic review of systematic reviews and meta-analyses. *Asian Journal of Psychiatry* 53:102353.



***José Francisco Camacho Aguilera***
***Margarita Pérez Arredondo***
***Servicio de Cirugía General***
***Hospital General de Zona 3***
***San Juan del Río, Querétaro***
***scientia_medica@hotmail.com***

www.elementos.buap.mx

# Patología dual: el vínculo invisible entre la salud mental y las adicciones

Monserrat **Armenta Reséndiz**
Roberto **Meyer Gómez**

Por mucho tiempo predominó en la sociedad la creencia de que las adicciones eran consecuencia exclusiva de un problema de fuerza de voluntad o de decisiones individuales equivocadas. A pesar de los avances científicos, esta visión moral aún está vigente. Esta perspectiva no solo estigmatiza a quienes viven con un trastorno por consumo de sustancias, sino que también ignora la amplia evidencia científica que demuestra que la adicción es una patología compleja y multifactorial que involucra alteraciones neurobiológicas, factores psicológicos, sociales y contextuales. Pero, ¿la conducta adictiva puede ir acompañada de otros problemas de salud mental? Es con esta pregunta que el concepto de patología dual toma relevancia, ya que describe la coexistencia de un trastorno mental –como ansiedad, depresión, esquizofrenia, etcétera– con un trastorno por consumo de sustancias en una misma persona. Reconocer esta condición resulta fundamental para la sensibilización ante un problema muy poco comprendido, lo que es esencial para disminuir el estigma. Además, considerar la patología dual desde el conocimiento mejora el abordaje clínico y las estrategias de prevención en salud pública, promoviendo el acceso a tratamientos eficaces que mejoren la calidad de vida de quienes la padecen.

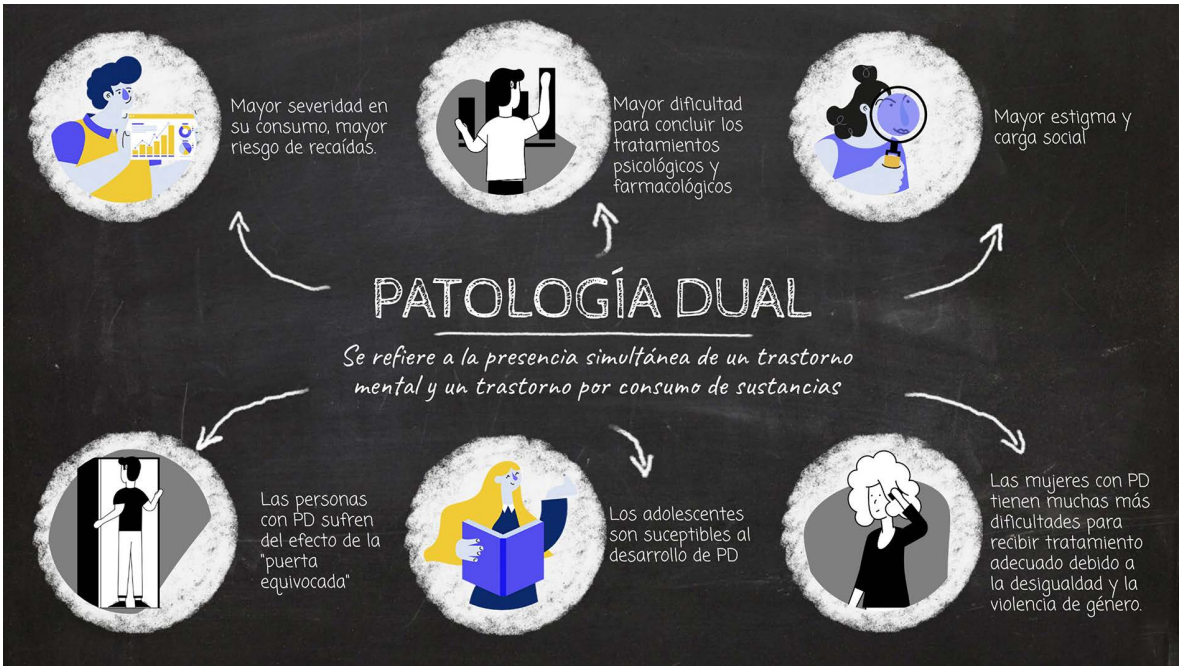



**Figura 1.** Características de la patología dual.

**¿QUÉ ES LA PATOLOGÍA DUAL?**

Para comenzar a entender lo que implica la patología dual, primero debemos tener en cuenta que un trastorno mental es una condición de salud que afecta de manera profunda la forma en que una persona piensa, siente y se comporta, influyendo directamente en su relación consigo misma y con la sociedad. Los trastornos mentales no son una falla o un error, sino alteraciones complejas en las que confluyen factores biológicos, psicológicos, sociales y culturales. Para que un trastorno pueda ser diagnosticado, los profesionales de la salud observan que un conjunto de conductas o experiencias conocidas como síntomas estén presentes, cuánto tiempo duran, con qué frecuencia ocurren y qué tan intensos son. Además, evalúan si estos síntomas afectan la vida diaria de la persona. Para orientarse, se basan en sistemas de clasificación diagnóstica como la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE), elaborada por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que busca establecer criterios clínicos globales e incluye a todas las enfermedades, o el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM), integrado por la Asociación Americana de Psiquiatría, que se centra más en la clasificación de los trastornos mentales y que puede ser aplicado para evaluación clínica e investigación. Por ejemplo, para que se determine que una persona tiene depresión, se requiere que el personal médico evalúe la presencia, intensidad y duración de varios síntomas que causen malestar o exclusión y que interfieran con el bienestar de la persona, como pérdida o aumento significativo de peso, problemas de sueño, agitación o enlentecimiento, fatiga o pérdida de energía, sentimientos de inutilidad o culpa excesiva, dificultad para concentrarse, pensamientos de muerte, etcétera.

Los trastornos mentales más comunes son los trastornos de ansiedad, afectivos como la depresión, del estado de ánimo como el trastorno bipolar, de estrés postraumático, de la conducta alimentaria, por consumo de sustancias y del neurodesarrollo. Todos estos trastornos pueden generar un notable deterioro en la vida cotidiana si no se reconocen y tratan adecuadamente.

La patología dual, también llamada diagnóstico dual, se refiere a la presencia simultánea de un trastorno mental y un trastorno por consumo de sustancias, ya sea alcohol, cannabis, estimulantes, opioides u otras drogas. Actualmente, algunos especialistas

han propuesto que el término de patología dual podría ampliarse para incluir no solo la comorbilidad psiquiátrica, sino también rasgos de la personalidad como el temperamento y el carácter, así como conductas psicopatológicas como la violencia, las acciones que atentan contra uno mismo, conductas antisociales y delictivas, etc., que no son necesariamente un trastorno mental bajo los criterios diagnósticos como el CIE o el DSM, pero sí indicadores de posibles alteraciones en la salud mental, debido a la diversidad de manifestaciones del malestar emocional o de vulnerabilidad psicológica que no están presentes en los criterios diagnósticos y que pueden variar según la cultura y el contexto social. Además, esta inclusión de conductas abre la posibilidad de atender oportunamente a personas que pueden tener mucho mayor riesgo de desarrollar un grave trastorno por consumo de sustancias.

Diversos estudios realizados en pacientes que presentan trastorno por consumo de sustancias en centros de tratamiento han demostrado que es muy frecuente la relación entre trastornos mentales y adicción, encontrándose prevalencias de patología dual que van del 50 al 75 %; esto agrava el pronóstico clínico y dificulta el tratamiento cuando no se abordan de manera integrada (Marín-Navarrete *et al*., 2009).

Las personas que presentan patología dual suelen tener mayor severidad en su consumo, mayor riesgo de recaídas, dificultades para concluir sus tratamientos psicológicos y farmacológicos, y mayor estigma y carga social. Por ello, hoy se reconoce que la atención fragmentada es insuficiente, y que la desatención conocida como "síndrome o efecto de la puerta equivocada" (falta de atención a la adicción en los hospitales de salud mental por considerarla fuera de su jurisdicción, y falta de atención al trastorno mental asociado a la adicción en centros de atención y tratamiento de adicciones), deja al paciente en un estado de desamparo y sin atención adecuada.

#### ¿ES PRIMERO EL CONSUMO DE SUSTANCIAS O EL TRASTORNO MENTAL?

Una de las preguntas más frecuentes en torno a la patología dual es cuál de las dos condiciones aparece primero. Aparentemente, nos encontramos en una situación similar al dilema clásico del huevo y la gallina. Sin embargo, en esta condición tan compleja no existe una única posibilidad, sino distintos caminos posibles, como que exista un trastorno mental previo al consumo. En este caso, se observa que algunas personas utilizan sustancias como una forma de automedicación para aliviar síntomas emocionales, afectivos, estrés postraumático, fatiga crónica, insomnio, etcétera. Otra posibilidad es que se establezca un consumo problemático previo al desarrollo de un trastorno mental, ya que el uso prolongado de sustancias puede inducir o exacerbar trastornos psiquiátricos, especialmente en personas con vulnerabilidad. Además, existe la posibilidad de que haya factores de riesgo compartidos, como predisposición genética, experiencias adversas tempranas, trauma, pobreza o marginación, que pueden aumentar simultáneamente el riesgo de ambos trastornos. Esta pregunta sin respuesta única refuerza la idea de que la patología dual no debe entenderse en términos simplistas de causalidad, sino como un proceso dinámico y bidireccional.

#### PATOLOGÍA DUAL Y ADOLESCENCIA

La adolescencia representa una etapa crítica para el desarrollo de la patología dual, porque en este periodo de la vida el cerebro aún se encuentra en maduración; especialmente, aún no terminan de refinarse las conexiones de las áreas encargadas del control de impulsos y la regulación emocional. Por esta razón, la exposición temprana a sustancias puede alterar estos procesos y aumentar la probabilidad de desarrollar trastornos mentales. Así también, los síntomas asociados a diferentes trastornos mentales comienzan a ser más visibles y diagnosticables.

Algunos estudios realizados en hospitales psiquiátricos han mostrado, a partir de la observación y el análisis de los casos atendidos, que alrededor del 54 % de los jóvenes con trastornos mentales diagnosticados también presenta consumo problemático de sustancias; además, el 33 % de estos jóvenes



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

son atendidos por servicios de urgencias en salud mental (Tomáš y Lenka, 2023; Matali *et al*., 2015).

¿Por qué es importante mirar hacia los jóvenes? Sin duda, los adolescentes con patología dual son personas que tienden a experimentar mayor severidad de síntomas, mayor riesgo de conductas de riesgo y peor pronóstico terapéutico que aquellos con un solo diagnóstico, lo que requiere que los esfuerzos se centren en la atención temprana, integrada y multidisciplinaria que, desde una mirada humanista y empática por parte del personal de salud, combine evaluación psiquiátrica, apoyo psicológico y estrategias de reducción de daños.

#### ¿EXISTEN DIFERENCIAS ENTRE HOMBRES Y MUJERES?

Diversos estudios señalan que existe una posible diferencia entre hombres y mujeres en la presencia y características de la patología dual. En una revisión donde se analizaron 40 estudios publicados en diferentes revistas científicas que contenían información acerca de las diferencias de género en la prevalencia y en las características clínicas de pacientes mayores de edad con patología dual, se encontró que los hombres con patología dual presentaban hábitos de consumo denominados policonsumo, es decir, consumo de varias sustancias; además, los trastornos asociados con la población masculina fueron los psicóticos, cuyos síntomas más comunes son las alucinaciones auditivas, visuales, paranoia, pensamientos desorganizados, etcétera. Mientras tanto, las mujeres que fueron atendidas en centros de rehabilitación y en atención ambulatoria presentaron en su mayoría trastornos afectivos como la depresión y trastornos de ansiedad asociados al consumo problemático de sustancias (Miquel *et al*., 2011). Otra importante diferencia de género es la desigualdad y las brechas de acceso al tratamiento, que son mucho más grandes para las mujeres, además de enfrentar mayor estigma y una mayor probabilidad de haber experimentado eventos traumáticos como abuso sexual o violencia

de género, factores que sin duda influyen en el desarrollo y curso de padecimientos mentales (Torres-Melich *et al*., 2021). En 1989, Nick Piazza y su equipo de trabajo analizaron información sobre el consumo de personas pertenecientes a grupos de autoayuda, registraron la edad de la primera bebida, la primera experiencia de borrachera, el primer problema relacionado con el alcohol y la primera admisión al tratamiento, así como otros síntomas relacionados con el consumo de alcohol. Los resultados dieron lugar a lo que Piazza llamó por primera vez el efecto "telescoping", debido a que observaron que, aunque las mujeres y los hombres iniciaron el tratamiento a la misma edad, las mujeres reportaron haber iniciado el consumo de alcohol dos años más tarde que los hombres y haberse intoxicado por primera vez tres años más tarde que los hombres. A pesar de que el inicio del consumo problemático es más tardío para las mujeres, una vez que se presenta, su progreso hacia la dependencia es más acelerado, registrándose que las mujeres tardan en promedio 4.3 años menos que los hombres en ingresar a centros de atención por consumo grave (Marks y Clark, 2018). Todos estos factores implican atender con perspectiva de género las necesidades de tratamiento, pero también la prevención y el diagnóstico, no solo adaptando las estrategias terapéuticas a las necesidades específicas de cada género, sino diseñando nuevas aproximaciones más justas y específicas para mejorar resultados clínicos y sociales.

**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.



## CONCLUSIONES

La atención adecuada de la patología dual es un reto enorme para los sistemas de salud, aunque representa, a su vez, una oportunidad para repensar la manera en que se conciben la salud mental y el consumo de sustancias psicoactivas. La evidencia científica nos muestra que este doble sufrimiento mental es más común de lo que imaginamos, y que el consumo problemático de sustancias está, en la mayoría de las ocasiones, asociado a otras condiciones mentales. Es importante reconocer que, a pesar de los esfuerzos de investigación y la evidencia actual, aún existe una importante limitación en cuanto a lo que se sabe de este fenómeno, particularmente debido a las diferencias biológicas, culturales y sociales que enmarcan cada caso. Sin embargo, conocer este problema y apropiarse de la información y el conocimiento existente podría ayudar a reducir el estigma y a promover intervenciones más eficaces e integrales. Además, se requiere incorporar la perspectiva de género en la atención, ya que esta nos permite reconocer las diferencias en la expresión, desarrollo y mantenimiento de la patología dual que tienen hombres y mujeres, siendo las mujeres, históricamente, uno de los grupos más olvidados y expuestos a factores sociales, culturales y estructurales como la violencia de género, acoso, sobrecarga de roles, estigma, desigualdad laboral, etc., que pueden desencadenar problemas de salud mental, lo que requiere estrategias adaptadas para reducir la brecha y la inequidad en la prevención y tratamiento. En el ámbito cultural, algunas obras literarias como *Réquiem por un sueño* de Hubert Selby Jr., *Trainspotting* de Irvine Welsh, *Nación Prozac* de Elizabeth Wurtzel, *Pregúntale a Alicia* de autor anónimo o *La campana de cristal* de Sylvia Plath y sus respectivas adaptaciones cinematográficas, han contribuido a visibilizar la crudeza de esta realidad que durante



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

mucho tiempo permaneció incomprendida como un problema de fuerza de voluntad. Estos casos ficticios y autobiográficos nos recuerdan que cada historia tiene sus propias experiencias complejas, sus vulnerabilidades biológicas, personales y sociales. Por ello, es importante evitar interpretaciones simplistas de la patología dual, ya que los caminos individuales que conducen a este doble sufrimiento no siguen un solo patrón ni pueden explicarse mediante una relación directa de causa y efecto. La investigación científica muestra que esta interacción es multifactorial y diversa; por lo tanto, una perspectiva integral y una atención interdisciplinaria de la patología dual es fundamental para mejorar la calidad de vida de los pacientes y promover un cuidado más justo, inclusivo y basado en la evidencia.

## REFERENCIAS


American Psychiatric Association (2022). DSM-5-TR: Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales.

Matali JL, Andión O, Pardo M *et al*. (2016). Adolescentes y diagnóstico dual en el servicio de urgencias psiquiátricas. Adicciones 28(2):71-79.

Marín-Navarrete R, Szerman N y Ruiz P (Eds.) (2017). Monografía sobre patología dual: Co-ocurrencia entre trastornos por uso de sustancias y otros trastornos psiquiátricos. México: Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz e Instituto para la Atención y Prevención de las Adicciones.

Marks KR and Clark CD (2018). The telescoping phenomenon: Origins in gender bias and implications for contemporary scientific inquiry. Substance Use & Misuse 53(6):901-909.

Miquel L, Roncero C, López-Ortiz C y Casas M (2011). Diferencias de género epidemiológicas y diagnósticas según eje I en pacientes con patología dual. Adicciones 23(2):165-172.

Tomáš R and Lenka R (2023). Prevalence of dual diagnoses among children and adolescents with mental health conditions. Children 10(2):293.

Torrens M (2008). Patología dual: situación actual y retos de futuro. Adicciones 20(4):315-320.

Torrens-Melich M, Orengo T, Rodríguez de Fonseca F *et al*. (2021). Gender perspective in dual diagnosis. Brain Sciences 11(8):1101.



***Monserrat Armenta Reséndiz***
***Roberto Meyer Gómez***
***Instituto de Ciencias de la Salud***
***Universidad Veracruzana***
***marmenta@uv.mx***

www.elementos.buap.mx

# Péptidos antioxidantes de origen marino: pequeñas moléculas con gran impacto biológico

Jesús Antonio **García Aguirre**
Crisantema **Hernández González**

En los últimos años, el crecimiento urbano acelerado, la contaminación ambiental y los malos hábitos, como el consumo de alimentos ultraprocesados y el sedentarismo, han provocado un aumento de algunas enfermedades crónicas (EC) como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares, la obesidad y algunos tipos de cáncer. De acuerdo con estimaciones globales, las muertes prematuras por EC superan los 41 millones al año, lo que representa el 71 % del total de muertes en el mundo (OMS, 2025). Esta tendencia ha despertado un gran interés en la búsqueda de soluciones naturales que ayuden a prevenir o reducir el daño que causan en el organismo. Uno de los factores más importantes para el desarrollo de estas enfermedades es el estrés oxidativo. Este fenómeno ocurre cuando se rompe el equilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO, conocidas popularmente como “radicales libres”) y la capacidad del cuerpo para neutralizarlas mediante antioxidantes. Las ERO son moléculas que se generan de manera natural durante la respiración celular y que cumplen funciones importantes en procesos biológicos normales; sin embargo, cuando su cantidad excede los niveles que las células pueden controlar, estas moléculas comienzan a reaccionar con componentes vitales como

los lípidos, las proteínas o el ADN, generando daños oxidativos que pueden favorecer el deterioro celular y la aparición de enfermedades. Para contrarrestar este daño, los seres humanos cuentan con un sistema de defensa antioxidante, compuesto por enzimas como la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y la glutatión peroxidasa (GPx), y algunas vitaminas como la vitamina E y la vitamina C. No obstante, cuando estos no son suficientes, es posible recurrir a fuentes externas que ayuden a restaurar el equilibrio entre oxidantes y antioxidantes (Gulcin, 2025). Entre los antioxidantes más prometedores se encuentran los péptidos antioxidantes, pequeñas moléculas con una sorprendente capacidad para proteger las células frente al daño oxidativo (Cunha y Pintado, 2022).

### ¿QUÉ SON LOS PÉPTIDOS ANTIOXIDANTES Y CÓMO SE OBTIENEN?

Los péptidos son pequeños fragmentos de proteínas que se obtienen cuando enzimas específicas cortan las proteínas y las dividen en partes más simples (péptidos); a este proceso se le conoce como hidrólisis enzimática. La hidrólisis enzimática ocurre de manera natural en el cuerpo, durante la digestión de los alimentos, o bien de forma controlada en el laboratorio, usando enzimas que actúan sobre proteínas provenientes de los subproductos (desechos) de la pesca, algas, lácteos y algunos granos y semillas.

El proceso de obtención de péptidos antioxidantes contempla algunas etapas: primero, se selecciona la proteína de origen (animal o vegetal); segundo, se realiza el proceso de hidrólisis; y tercero, se caracterizan, es decir, se obtiene su tamaño (peso molecular) y su estructura (cómo están formados) para comprender cómo ejercen su acción antioxidante.

### CONTRA LOS RADICALES LIBRES...

Algunos péptidos antioxidantes pueden eliminar las ERO o ERN (especies reactivas de nitrógeno) mediante dos rutas principales: la transferencia de átomos de hidrógeno o la transferencia de electrones. En la práctica, ambos mecanismos suelen ocurrir de manera simultánea, y el tipo de acción dominante depende de las características químicas del péptido. En ambas rutas, estas moléculas logran estabilizar los radicales libres, impidiendo que reaccionen con otras moléculas y deteniendo así el daño celular (Lorenzo *et al*., 2018).

### CAPTURA DE METALES REACTIVOS

El hierro y el cobre son metales esenciales para el cuerpo, pero en exceso pueden generar compuestos altamente reactivos que dañan las células. Cuando hay un desequilibrio en sus concentraciones, estos metales actúan como potenciadores en la formación de radicales libres como el hidroxilo (•OH), que son extremadamente tóxicos (Zhu *et al*., 2022). Los péptidos antioxidantes pueden unirse a estos metales evitando que participen en reacciones dañinas. Al hacerlo, previenen la generación de radicales y ayudan a mantener el equilibrio oxidativo del organismo (Wen *et al*., 2020).

### A PROTEGER LOS LÍPIDOS...

La oxidación de lípidos es un proceso que ocurre cuando las grasas reaccionan con el oxígeno, lo que puede generar sabores y olores desagradables en los alimentos, además de producir compuestos tóxicos. En el cuerpo humano, este fenómeno se relaciona con enfermedades como la aterosclerosis, el Alzheimer y el cáncer. Los péptidos pueden adherirse a la superficie de las moléculas de grasa y bloquear su contacto con el oxígeno, lo que impide que se oxiden (Olatunde y Benjakul, 2018).

### ANTIOXIDANTES AL 2 X 1

Los péptidos antioxidantes no solo actúan de manera directa sobre los radicales libres, también promueven la activación de enzimas antioxidantes tales como la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y la glutatión peroxidasa (GPx), las cuales forman parte de la primera defensa contra



© **Rafael Pareja.** *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026.

el estrés oxidativo (Han *et al*., 2020). Gracias a este mecanismo, los péptidos no solo combaten los radicales libres directamente, también estimulan las defensas antioxidantes naturales del cuerpo, lo que les da una doble funcionalidad (Liu *et al*., 2022).

### EL MAR: UN RECURSO VALIOSO PARA LA OBTENCIÓN DE PÉPTIDOS ANTIOXIDANTES

El océano alberga una gran diversidad de organismos que producen compuestos naturales con propiedades útiles. Con el crecimiento de la población mundial y la necesidad de una economía más sostenible, la industria pesquera y acuícola ha tomado un papel clave en la obtención de nuevos ingredientes funcionales. Cada año, esta industria genera millones de toneladas de desechos pesqueros como cabezas, vísceras, pieles, escamas y huesos, que pueden representar hasta el 70 % del peso total de pescados y mariscos (Ozogul *et al*., 2021). Anteriormente, estos subproductos eran desechados o usados como alimento para animales y fertilizante, pero hoy se sabe que contienen proteínas de alto valor que pueden transformarse en péptidos antioxidantes con propiedades benéficas para la salud. Gracias a los avances en biotecnología, estos residuos se están convirtiendo en fuentes sostenibles de ingredientes funcionales para las industrias alimentaria, cosmética, farmacéutica y médica. De esta manera, la ciencia contribuye a reducir el desperdicio y a aprovechar al máximo los recursos marinos, promoviendo una economía circular que une la salud humana con la sostenibilidad ambiental.

### LIMITACIONES Y DESAFÍOS EN EL ESTUDIO DE PÉPTIDOS ANTIOXIDANTES

A pesar del potencial antioxidante de los péptidos, cabe señalar que existen limitaciones importantes. Por ejemplo, su biodisponibilidad puede verse reducida durante la digestión, ya que muchos de los péptidos pueden degradarse previamente antes de liberar su potencial antioxidante. Por otra parte, las dosis observadas en estudios *in vitro* y en modelos animales son más elevadas que las que una persona pueda obtener mediante la dieta; por lo tanto, el impacto real en humanos sigue siendo incierto. Además, es necesario considerar los posibles efectos adversos y las interacciones con otros compuestos. En conjunto, estos factores determinan que, si bien los péptidos antioxidantes presentan un potencial prometedor, su estudio aún se encuentra en desarrollo y no deben interpretarse como agentes terapéuticos ya establecidos.

### CONCLUSIÓN

La investigación sobre péptidos antioxidantes ha producido resultados prometedores para prevenir el daño oxidativo y promover una mejor salud. No obstante, es importante señalar que la mayoría de estos efectos han sido observados en estudios celulares o en modelos animales, por lo que la evidencia clínica en humanos aún es limitada; por tanto, estos beneficios deben interpretarse como un campo de investigación en desarrollo. Su versatilidad para actuar tanto dentro como fuera de las células, junto con la posibilidad de obtenerlos de fuentes marinas sostenibles, los convierte en aliados ideales para el futuro de la nutrición y la biotecnología. Además, su producción a partir de subproductos pesqueros



© **Rafael Pareja.** *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026.

es una forma inteligente de dar valor a lo que antes se consideraba desperdicio.

**AGRADECIMIENTOS**

A los doctores Aarón Salazar, Rogerio Sotelo y Pablo Rojas, miembros del comité de tesis doctoral del cual se deriva esta publicación, así como al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo por el apoyo brindado.

## REFERENCIAS

Cunha SA and Pintado ME (2022). Bioactive peptides derived from marine sources: Biological and functional properties. *Trends in Food Science & Technology* 119:348-370. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.017.

Gulcin İ (2025). Antioxidants: a comprehensive review. *Archives of Toxicology* 99(5):1893-1997. DOI: https://doi.org/10.1007/s00204-025-03997-2.

Han J, Huang Z, Tang S *et al.* (2020). The novel peptides ICRD and LCGEC screened from tuna roe show antioxidative activity via Keap1/Nrf2-ARE pathway regulation and gut microbiota modulation. *Food Chemistry* 327:127094. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127094.

Liu H, Liang J, Xiao G *et al*. (2022). Active sites of peptides Asp-Asp-Asp-Tyr and Asp-Tyr-Asp-Asp protect against cellular oxidative stress. *Food Chemistry* 366:130626. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130626.

Lorenzo JM, Munekata PES, Gómez B *et al.* (2018). Bioactive peptides as natural antioxidants in food products-A review. *Trends in Food Science & Technology* 79:136-147. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.003.

Olatunde OO and Benjakul S (2018). Natural Preservatives for Extending the Shelf-Life of Seafood: A Revisit. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17(6):1595-1612. DOI: https://doi.org/10.1111/1541-4337.12390.

OMS. (2025). WHO. Non-Communicable Diseases. Disponible en línea: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases.

Ozogul F, Cagalj M, Šimat V *et al.* (2021). Recent developments in valorisation of bioactive ingredients in discard/seafood processing by-products. *Trends in Food Science & Technology* 116:559-582. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.007.

Wen C, Zhang J, Zhang H *et al.* (2020). Plant protein-derived antioxidant peptides: Isolation, identification, mechanism of action and application in food systems: A review. *Trends in Food Science & Technology* 105:308-322. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.019.

Zhu Y, Lao F, Pan X and Wu J (2022). Food Protein-Derived Antioxidant Peptides: Molecular Mechanism, Stability and Bioavailability. *Biomolecules* 12(11):1622. DOI: https://doi.org/10.3390/biom12111622.

***Jesús Antonio García Aguirre***
***Crisantema Hernández González***
***Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Mazatlán***
***jgarcia224@estudiantes.ciad.mx***

# El poder anticancerígeno de los vegetales crucíferos: el sulforafano

Jesús Roberto **Rodríguez Sánchez**
Claudia Magdalena **López Badillo**

Los vegetales crucíferos son una familia de plantas que se distinguen por tener flores con cuatro pétalos en forma de cruz (como el brócoli, la coliflor, el repollo y la col rizada, entre los más importantes) y que en años recientes han ganado relevancia debido a que su consumo frecuente se ha asociado a propiedades cardioprotectoras, detoxificantes y antiinflamatorias (Ağagündüz *et al*., 2022).

Estos vegetales también son conocidos por ser una fuente importante de unas sustancias naturales llamadas isotiocianatos, que han despertado mucho interés por sus posibles beneficios para la salud humana. Entre ellos, el más estudiado recientemente es el sulforafano, un isotiocianato con potenciales propiedades antioxidantes que podrían desempeñar un papel importante en la prevención de diversas enfermedades como el cáncer (Shree *et al*., 2022).

El creciente interés en el sulforafano ha impulsado el desarrollo de algunos productos naturales, como es el caso de los suplementos alimenticios; sin embargo, a pesar de ser muy prometedor, a la fecha aún no hay suficiente evidencia científica que establezca con claridad los efectos terapéuticos comprobados en humanos ni sus posibles efectos secundarios.

Este artículo aborda las características generales del sulforafano, cómo actúa en el organismo y qué indican los

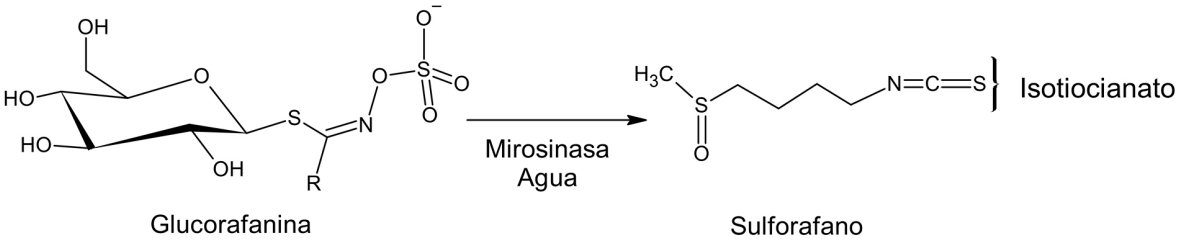



**Figura 1. Conversión del precursor glucorafanina en sulforafano.**

estudios científicos más recientes sobre su posible papel en la prevención del cáncer y su seguridad para el consumo.

#### CARACTERÍSTICAS Y OBTENCIÓN DEL SULFORAFANO

El sulforafano es un compuesto natural cuya estructura química contiene un grupo isotiocianato (–N=C=S) y un grupo metilsulfinil ($CH_3$–S=O). Puede obtenerse a partir de distintas partes de las plantas crucíferas, entre las que se incluyen la cabeza, el tallo, las semillas y los brotes; sin embargo, la cantidad que puede extraerse depende de diversos factores como el tipo de planta, las condiciones de cultivo y el ambiente en el que crecieron.

El sulforafano no se encuentra directamente en las plantas, en realidad se forma a partir de otra molécula llamada glucorafanina, que actúa como su precursor natural. Por ejemplo, cuando el brócoli se corta, se tritura o se mastica, una enzima también presente en la planta llamada mirosinasa se activa y transforma la glucorafanina en sulforafano. En un laboratorio, este mismo proceso puede reproducirse de forma controlada mezclando la materia vegetal con agua, para favorecer esta reacción, y posteriormente extraer el sulforafano utilizando diferentes solventes (Cheng *et al*., 2020). En la Figura 1 se muestra cómo la glucorafanina se transforma en sulforafano en presencia de agua.

Cuando los vegetales crucíferos se consumen crudos o poco cocidos, la glucorafanina se absorbe parcialmente en el tracto gastrointestinal, lo que le permite permanecer activa para favorecer la formación del sulforafano. Pero si estos vegetales se someten a una cocción prolongada, el calor puede degradar completamente estas sustancias y así no podrán ser aprovechadas por el organismo.

Por lo tanto, la absorción del sulforafano en el organismo es un proceso especialmente complejo y puede variar entre individuos, ya que depende de la rapidez de la digestión, del estado del alimento y de la actividad de la microbiota intestinal (Barba *et al*., 2016).

#### ¿CÓMO ACTÚA EL SULFORAFANO FRENTE AL CÁNCER?

El interés científico por el sulforafano se debe a que diversos estudios de laboratorio en células y animales sugieren que podría ayudar al organismo a defenderse frente al desarrollo del cáncer. Aunque todavía se requieren más investigaciones para confirmar estos efectos, se han podido identificar varios procesos biológicos que ayudan a explicar su actividad anticancerígena.

Uno de los mecanismos más estudiados del sulforafano está relacionado con los sistemas de defensa de las propias células. Por mencionar un ejemplo, se encuentra la activación de una proteína llamada Nrf2 (del inglés *Nuclear Factor Erythroid-Related Factor 2*) que se encarga de detectar sustancias dañinas y reparar el ADN. También el sulforafano podría actuar activando un interruptor de "autodestrucción" al forzar la muerte de las células tumorales. En casos de leucemia, la evidencia cuantitativa muestra que aumenta los niveles de proteínas "suicidas" como la caspasa 3, PARP y Bax, mientras que reduce la proteína Bcl-2, que es la que mantiene vivo al tumor. En tumores sólidos (mama, colon, esófago), dosis experimentales de entre 5 y 50 mg/kg han demostrado reducir el volumen tumoral al activar estas vías de autodestrucción (Aranda-Rivera *et al*., 2024; Baralić *et al*., 2024).

Además, el sulforafano podría ser capaz de inhibir la actividad de ciertas enzimas relacionadas con el crecimiento y la división celular, como es el caso de la enzima llamada histona deacetilasa (HDAC). Esto es muy importante, ya que cuando estas enzimas sufren daño o son alteradas, pueden fomentar la aparición y proliferación de células malignas (Dickinson *et al*., 2015).

Por último, estudios preclínicos *in vitro* indican que el sulforafano interfiere en la formación de nuevos vasos sanguíneos presentes en tumores, un proceso conocido como angiogénesis. Al limitar el suministro de nutrientes a las células cancerígenas, este efecto podría dificultar su crecimiento y expansión (Liu *et al*., 2017).

#### ¿PERO EL SULFORAFANO ES REALMENTE SEGURO?

Como se ha visto hasta ahora, el sulforafano está relacionado con una notable propiedad anticancerígena, pero ¿realmente todas las personas pueden consumirlo o puede ser utilizado para un tratamiento específico contra el cáncer?

Es difícil saberlo, ya que algunos estudios experimentales han mostrado que el efecto del sulforafano puede depender de diversos factores, como la dosis administrada o incluso el momento en que se aplica el tratamiento.

En una investigación reciente con modelos animales, los científicos observaron que la dosis letal media del sulforafano en ratas es de 212 mg/kg, pero, de manera sorprendente, si la dosis administrada era muy baja y se administraba en tiempos muy distintos, las células tumorales comenzaban a adaptarse a esas condiciones de estrés.

También resultó muy interesante lo que se observó en ratones con cáncer de pulmón: dependiendo del momento en que se administraba el sulforafano era posible observar dos situaciones. Si la administración se realizaba antes de que se formara el tumor, se observaba una reducción en el número de tumores; pero, por el contrario, si se aplicaba cuando el tumor ya estaba presente, se observaba un aumento ligero en su crecimiento, además de la alteración de ciertos genes sin un mecanismo claro.

Además, fuera del contexto aplicado exclusivamente al cáncer, los investigadores coinciden en que alcanzar niveles tóxicos de sulforafano a través del consumo habitual de vegetales crucíferos resulta improbable, ya que la cantidad presente en los alimentos suele ser relativamente baja (Baralić *et al*., 2024; Mangla *et al*., 2021).

Estos hallazgos sugieren que la acción del sulforafano en el organismo es compleja y aún no se comprende por completo. Por ello, aunque su potencial preventivo resulta interesante, todavía se requieren estudios complementarios en seres humanos a gran escala que permitan establecer con mayor claridad sus beneficios, riesgos y dosis adecuadas.

#### CONCLUSIÓN

Sin duda, el sulforafano ha ganado atención en los últimos años por su potencial anticancerígeno y antitumoral. Aunque los estudios en células y animales muestran un panorama positivo, aún se necesita evidencia clara en humanos, ya que los resultados disponibles hasta ahora varían mucho en los métodos, dosis y formulaciones utilizadas, lo que dificulta establecer comparaciones precisas y tampoco existe nada estandarizado, tanto para su consumo en forma purificada como en suplementos. Aun así, considerando la información más reciente sobre su seguridad, incluir vegetales crucíferos en la dieta sigue siendo recomendable, ya que aporta múltiples beneficios a la salud gracias a su contenido de vitaminas y minerales. Por lo tanto, aunque no se trata de una prevención garantizada contra el cáncer, su consumo regular puede ser una herramienta valiosa dentro de un estilo de vida saludable y equilibrado.

## REFERENCIAS

Ağagündüz D, Şahin T, Yılmaz B *et al.* (2022). Cruciferous Vegetables and Their Bioactive Metabolites: from Prevention to Novel Therapies of Colorectal Cancer. *Evid Based Complement Alternat Med* 2022:1534083.

Aranda-Rivera AK, Cruz-Gregorio A, Amador-Martínez I *et al.* (2024). Sulforaphane protects from kidney damage during the release of unilateral




© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

ureteral obstruction (RUUO) by activating nuclear factor erythroid 2-related factor 2 (Nrf2): Role of antioxidant, anti-inflammatory, and antiapoptotic mechanisms. *Free Radic Biol Med* 212:49-64.

Barba FJ, Nikmaram N, Roohinejad S *et al.* (2016). Bioavailability of Glucosinolates and Their Breakdown Products: Impact of Processing. *Front Nutr* 3:24.

Baralić K, Živanović J, Marić D *et al.* (2024). Sulforaphane, A compound with potential health benefits for disease prevention and treatment: Insights from pharmacological and toxicological experimental studies. *Antioxidants* 13:147.

Cheng L, Wan K, Liang H and Yuan Q. (2020). Chapter 9 - Sulforaphane and sulforaphene: Two potential anticancer compounds from glucosinolates. In Galanakis CM (Ed.), *Glucosinolates: Properties, Recovery, and Applications* (pp. 281-312). Academic Press.

Coutinho LL, Junior TCT and Rangel MC (2023). Sulforaphane: An emergent anti-cancer stem cell agent. *Front Oncol* 13:1089115.

Dickinson SE, Rusche JJ, Bec SL *et al.* (2015). The effect of sulforaphane on histone deacetylase activity in keratinocytes: Differences between in vitro and in vivo analyses. *Mol Carcinog* 54(11):1513-1520.

Liu P, Atkinson SJ, Akbareian SE *et al.* (2017). Sulforaphane exerts anti-angiogenesis effects against hepatocellular carcinoma through inhibition of STAT3/HIF-1α/VEGF signalling. *Sci Rep* 7(1):12651.

Mangla B, Javed S, Sultan MH *et al.* (2021). Sulforaphane: A review of its therapeutic potentials, advances in its nanodelivery, recent patents, and clinical trials. *Phytother Res*: 1-19.

Shree B, Kumar S, Priyanka *et al.* (2022). Functional significance of underutilized high value cruciferous vegetables- an exotic gleam in the gloomy guise of their functional importance. *South African Journal of Botany* 145:420-437.

***Jesús Roberto Rodríguez Sánchez***
***Claudia Magdalena López Badillo***
***Facultad de Ciencias Químicas***
***Universidad Autónoma de Coahuila***
***jesus_sanchez@uadec.edu.mx***



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

www.elementos.buap.mx

# ¿La inteligencia artificial puede ayudarnos a entender y diagnosticar enfermedades autoinmunes?

Ana Laura **Lezama-Sánchez**
Mireya **Tovar Vidal**

En este artículo exploramos qué es una enfermedad autoinmune y cómo la inteligencia artificial se está utilizando como herramienta de apoyo en su diagnóstico. El texto está dirigido a un público general interesado en temas de ciencia y salud, con especial énfasis en los avances, limitaciones y retos del uso de la inteligencia artificial. También abordamos los avances logrados, los desafíos actuales y el posible impacto de esta tecnología como herramienta auxiliar en el futuro del cuidado médico. Además, hacemos hincapié en la importancia de un uso ético de la inteligencia artificial y destacamos que no debe considerarse un sustituto del personal médico, sino un apoyo que debe funcionar siempre bajo la supervisión de un especialista.

Las enfermedades autoinmunes se presentan cuando el sistema inmunológico, que protege al cuerpo de infecciones, se confunde y ataca por error tejidos sanos. Es decir, el cuerpo se ataca a sí mismo. Este fenómeno puede afectar órganos específicos o múltiples sistemas del organismo al mismo tiempo (Dra, 2012).

Entre las enfermedades autoinmunes más conocidas se encuentran el lupus eritematoso sistémico, la esclerodermia, la artritis reumatoide, la esclerosis múltiple, el síndrome de Addison, la tiroiditis de Hashimoto, el síndrome

| Tipo | Enfermedad | Sistema/órgano afectado |
|---|---|---|
| Sistémica | Lupus eritematoso sistémico | Múltiples órganos y tejidos (piel, riñones, articulaciones, etc.) |
| Sistémica | Esclerodermia | Piel, vasos sanguíneos, pulmones, riñones, tracto digestivo |
| Sistémica | Síndrome de Sjögren | Glándulas exocrinas, ojos, boca, articulaciones, pulmones |
| Sistémica | Artritis reumatoide | Principalmente articulaciones, pero puede afectar otros órganos |
| Sistémica | Síndrome antifosfolípido | Sistema vascular, coagulación, múltiples órganos |
| Órgano-específica | Esclerosis múltiple | Sistema nervioso central |
| Órgano-específica | Síndrome de Guillain-Barré | Sistema nervioso periférico |
| Órgano-específica | Tiroiditis de Hashimoto | Tiroides |
| Órgano-específica | Enfermedad de Graves | Tiroides |
| Órgano-específica | Enfermedad celiaca | Intestino delgado (afectación principal) |

**Tabla 1.** Clasificación de enfermedades autoinmunes según el tipo y el sistema afectado (Fuente: tomado de Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2004)..

de Sjögren, la enfermedad de Graves, el síndrome de Guillain-Barré y la enfermedad celiaca, entre muchas otras. Estas patologías se pueden clasificar como sistémicas u órgano-específicas, según el alcance del daño inmunológico (ver Tabla 1).

Aunque los avances científicos en tratamientos para el cáncer y los trasplantes de órganos se han desarrollado de forma exponencial en los últimos años, las enfermedades autoinmunes aún no cuentan con una cura ni con una explicación definitiva sobre su causa. Hasta ahora, se sabe que el progreso de estas patologías implica la interacción de múltiples factores que convergen y se potencian entre sí, como la pérdida de los mecanismos de tolerancia inmunológica, influencias del entorno, predisposiciones genéticas y alteraciones en componentes del sistema inmunitario (Kokuina, 2001). Por lo tanto, diagnosticar este tipo de enfermedades suele ser complejo, ya que los síntomas son variables, intermitentes y a menudo se confunden con otras condiciones.

Además, no existe una prueba que confirme la mayoría de los diagnósticos, lo que obliga a los médicos a combinar análisis clínicos, estudios de laboratorio e historial médico. A esto se suma la variabilidad individual en la presentación de los síntomas, lo que puede retrasar el diagnóstico durante meses o incluso años (Kokuina, 2001).

En cuanto al tratamiento, este suele enfocarse en controlar los síntomas, frenar el daño progresivo y reducir la actividad del sistema inmunológico. Sin embargo, no existe cura para estas enfermedades, y en muchos casos se requiere una combinación personalizada de medicamentos que puede tardar años en ajustarse adecuadamente (Kokuina, 2001).

El impacto en la calidad de vida de los pacientes puede ser considerable. El dolor crónico, la fatiga persistente, las hospitalizaciones recurrentes, los efectos secundarios de los tratamientos y la incertidumbre del curso de la enfermedad dañan no solo la salud física, sino también la estabilidad emocional y social. Además, muchas de estas condiciones afectan con mayor frecuencia a mujeres jóvenes en edad reproductiva, lo que puede influir directamente en su vida laboral, familiar y social (Kokuina, 2001).

En la Figura 1 se muestra un esquema de cómo la inteligencia artificial puede apoyar el proceso de diagnóstico de enfermedades autoinmunes, integrando información clínica, genética e imagenológica para generar predicciones que posteriormente son validadas por especialistas.

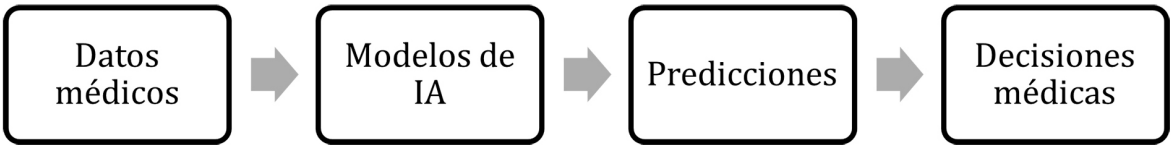



**Figura 1.** Esquema del flujo de datos clínicos en sistemas de apoyo al diagnóstico basados en IA.

#### ¿QUÉ PUEDE HACER LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL?

La inteligencia artificial (IA) es un campo en constante evolución que busca crear sistemas capaces de procesar información para tomar decisiones de forma similar a los seres humanos. En términos simples, la IA permite que las máquinas aprendan de datos y realicen tareas que antes solo podrían hacer las personas, como reconocer imágenes, entender lenguaje, predecir comportamientos o tomar decisiones (Rouhiainen, 2018).

La inteligencia artificial trabaja a través de algoritmos que procesan grandes volúmenes de información y generan modelos computacionales que identifican patrones en los datos. Dichos modelos sirven para posteriormente clasificar información que no fue utilizada durante el entrenamiento o construcción del modelo, siempre que pertenezca al mismo dominio de datos.

Por ejemplo, algunos sistemas para diferenciar entre piel sana y piel con patologías se entrenan con miles de imágenes previamente etiquetadas. A partir de este proceso, se dice que el modelo aprende características relevantes que le permiten identificar nuevos casos, sin implicar procesos cognitivos como los humanos, sino mediante el modelo obtenido.

Para De Francisco Hernández (2024), en medicina, la IA ya está transformando varias áreas. Por ejemplo:

- Análisis de imágenes médicas: como radiografías, resonancias o fotografías de la piel, donde la IA detecta lesiones o anomalías con gran precisión.
- Lectura de notas clínicas: los algoritmos analizan historiales médicos escritos por doctores y extraen información clave, lo cual ayuda a identificar patrones y a organizar mejor la información de los pacientes.
- Predicción de diagnósticos: combinando datos clínicos, síntomas y antecedentes, la IA utiliza clasificadores para encontrar qué enfermedad podría estar desarrollándose, incluso antes de que los síntomas aparezcan.

La inteligencia artificial no reemplaza al personal médico, pero sí se está convirtiendo en una herramienta valiosa para apoyarlo en el desarrollo de diagnósticos más rápidos y, por lo tanto, mejorar la atención a los pacientes.

#### APLICACIONES ACTUALES DE IA EN ENFERMEDADES AUTOINMUNES

La inteligencia artificial (IA) surge como una herramienta para el estudio y manejo de datos de cualquier dominio, pero como herramienta auxiliar del personal médico ha cobrado vital relevancia. Dada su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos médicos en los últimos años, la IA ha avanzado porque puede detectar patrones complejos y generar predicciones útiles para apoyar al personal de salud en la toma de decisiones clínicas. Estas herramientas permiten obtener diagnósticos rápidos al identificar grupos de enfermedades, analizar su evolución o personalizar tratamientos de manera automatizada (Merino Balaguer, 2024). Sin embargo, aún persiste la pregunta clave: ¿realmente la inteligencia artificial tiene la capacidad de comprender estas enfermedades mejor que el especialista médico y convertirse en un pilar para el diagnóstico y tratamiento del paciente? Por lo que dirigir la investigación en esta dirección exige una comprensión sobre los mecanismos biológicos involucrados en este tipo de enfermedades, así como el desarrollo de modelos computacionales capaces de integrar y



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

analizar datos genéticos, clínicos, inmunológicos y ambientales. Comprender estos elementos es fundamental para profundizar en el origen de las enfermedades autoinmunes, por lo que profundizar en este conocimiento permitirá avanzar en la comprensión de su etiología, y además optimizar las estrategias médicas existentes para su manejo o, en su caso, apoyar en el estudio para el descubrimiento de nuevos tratamientos (Dra, 2012).

En los últimos años, la investigación en inteligencia artificial ha avanzado considerablemente, pero principalmente en áreas como el cáncer o las enfermedades cardiovasculares; sin embargo, las aplicaciones centradas en enfermedades autoinmunes aún son relativamente escasas, aunque se encuentran en constante crecimiento.

Las aplicaciones existentes pueden agruparse en diferentes áreas como: apoyo al diagnóstico clínico, análisis automatizado de imágenes médicas y modelado computacional de relaciones entre enfermedades. En los últimos años, algunos modelos de IA se han aplicado con éxito en el estudio de estas enfermedades. Por ejemplo, existen sistemas para analizar los síntomas que los médicos describen en notas clínicas y sugerir posibles diagnósticos preliminares, lo que puede acelerar el proceso diagnóstico (De Francisco Hernández, 2024).

Por otro lado, existen sistemas que identifican patrones no visibles al ojo humano en imágenes médicas, como lesiones cutáneas en lupus o alteraciones articulares en artritis reumatoide. Estas herramientas pueden detectar signos que incluso a simple vista podrían pasar desapercibidos o que requerirían procedimientos médicos mucho más avanzados y, por lo tanto, más costosos para el paciente (Garzón Sánchez y Quintana López, 2022).

En los últimos años, diferentes investigaciones han aplicado inteligencia artificial en el estudio de enfermedades autoinmunes. Un ejemplo destacado es el trabajo de Samuels y colaboradores (2022), quienes desarrollaron un modelo computacional que analiza datos biomédicos y patrones de citación científica para predecir relaciones entre estas enfermedades. El enfoque, validado con datos clínicos reales, logró identificar agrupaciones coherentes de enfermedades según los sistemas del cuerpo que afectan, y descubrió conexiones entre enfermedades como el Alzheimer y la esclerosis múltiple. Este tipo de análisis automatizado permite avanzar hacia una clasificación más precisa y útil para médicos e

investigadores. Por otro lado, Baek y colaboradores (2024) aplicaron redes neuronales profundas al análisis de más de 10,000 imágenes ecográficas con el fin de distinguir entre la enfermedad de Graves y diferentes tipos de tiroiditis. Los modelos de aprendizaje profundo usados (redes neuronales con múltiples capas que aprenden patrones complejos) mostraron una capacidad de clasificación prometedora basada en imágenes médicas, complementada con datos clínicos. Estos estudios demuestran cómo la inteligencia artificial no solo puede analizar grandes volúmenes de datos, sino también detectar patrones útiles para mejorar el diagnóstico y la comprensión de enfermedades complejas. Aunque estos avances son prometedores, todavía queda mucho por explorar, especialmente en la integración de distintos tipos de datos (como imágenes, texto médico e historial clínico) y en el desarrollo de herramientas accesibles para su uso en entornos clínicos reales.

En México, las enfermedades autoinmunes afectan a un número considerable de personas, pero son poco conocidas, lo que dificulta el reconocimiento temprano de sus síntomas y la identificación del especialista al que se debe acudir. En el ámbito del procesamiento de datos, uno de los principales retos es la escasez de información estructurada sobre estas enfermedades en español. Hasta ahora, la mayor parte de la literatura científica disponible se encuentra en bases de datos internacionales como PubMed o MEDLINE, mientras que existen muy pocos conjuntos de datos clínicos, notas médicas o registros sistematizados en español, en particular, en el contexto mexicano. Esta limitación restringe el desarrollo y validación de modelos de inteligencia artificial adaptados a datos que pertenezcan a personas nacidas en el territorio mexicano.



**© Rafael Pareja.** *Vietnam rural.* Vietnam, 2026.

#### RETOS Y LIMITACIONES

En general, los avances son notables; sin embargo, también existen desafíos importantes. Uno de los principales es la calidad y cantidad de datos médicos disponibles, principalmente en español, debido a que la mayoría de los datos disponibles están en inglés, y aun así pueden resultar escasos dependiendo del dominio médico. Cuando los conjuntos de datos son escasos, están mal etiquetados o no representan adecuadamente la diversidad de los pacientes, los modelos de inteligencia artificial pueden fallar o clasificar incorrectamente. Además, otro obstáculo es la limitada disponibilidad de datos en español, lo que representa una barrera para realizar estudios específicos sobre el contexto mexicano. Sin embargo, conforme avanzan las indagaciones, se espera que esta limitación disminuya y que las investigaciones en idioma español crezcan al mismo ritmo que las desarrolladas en inglés. Otra limitante es la colaboración entre profesionales de la salud y especialistas en ciencia de datos, dado que la IA no puede desarrollarse de forma aislada, considerando que requiere del conocimiento clínico para tener aplicabilidad en entornos médicos reales.

Finalmente, confiar en la respuesta otorgada por los sistemas de IA puede ser riesgoso. Un error en la interpretación de los datos o en el funcionamiento del modelo podría derivar en respuestas incorrectas. Por ello, es fundamental establecer límites éticos claros y mantener siempre la supervisión médica o, en su caso, la participación constante de un especialista durante el desarrollo y uso de estas tecnologías.



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

Por lo tanto, aunque en México se realiza investigación en el área médica y en inteligencia artificial, la IA aplicada a la salud se encuentra aún en una etapa exploratoria. Esto se debe, en la mayoría de los casos, a la baja disponibilidad de conjuntos de datos clínicos en español que permitan el desarrollo, entrenamiento y validación de modelos. En consecuencia, uno de los principales retos que enfrentan los investigadores mexicanos es la escasez de datos y de herramientas adaptadas al idioma, lo que dificulta el avance constante de este tipo de investigaciones orientadas a información en español.

## UN FUTURO CON IA COMO ALIADA DE LA SALUD

La inteligencia artificial es capaz de analizar grandes cantidades de información en poco tiempo y con alta precisión. Esto no significa que vaya a reemplazar a los médicos. Por el contrario, la IA tiene el potencial de convertirse en una aliada estratégica dentro de la atención médica. En este sentido, puede convertirse en medicina personalizada (Pedraza Caro, 2023). Es decir, puede asistir en la toma de decisiones complejas, ofrecer segundas opiniones automatizadas y contribuir a la personalización de tratamientos según las características específicas de cada paciente.

Además, en zonas rurales o con escasez de especialistas, la IA podría convertirse en una herramienta clave que puede reducir las desigualdades en el acceso al diagnóstico y la atención especializada. Sin embargo, esta tecnología debe estar siempre respaldada por profesionales de la salud, tanto en su desarrollo como en su aplicación clínica, para garantizar su seguridad, eficacia y adecuación ética (Pedraza Caro, 2023).

La inteligencia artificial no viene a reemplazar a la medicina, sino a potenciarla. A medida que la tecnología sigue evolucionando, será clave garantizar que su desarrollo esté guiado por principios éticos, inclusión y colaboración entre disciplinas. El futuro de la salud no dependerá solo de algoritmos, sino de cómo los humanos los diseñemos, usemos y supervisemos.

## CONCLUSIÓN

Hasta ahora, hemos descrito qué es una enfermedad autoinmune, cómo se origina y cómo, hasta el momento, no existe una cura definitiva para este tipo de padecimientos. También hemos abordado la participación de la inteligencia artificial y su incursión en el campo médico, no como reemplazo de los profesionales, sino como una herramienta de apoyo.

Esto nos lleva a preguntarnos: ¿puede la inteligencia artificial ayudarnos a entender y diagnosticar las enfermedades autoinmunes? La respuesta parece ser que sí, aunque con matices, responsabilidad social y mucho trabajo por delante.

La IA no tiene todas las respuestas, pero puede ayudarnos a encontrarlas más rápido, con el apoyo de grandes volúmenes de datos, con la colaboración de especialistas no solo en el ámbito médico, sino también en las áreas donde se aplique y con menos margen de error. Con un enfoque ético y colaborativo, esta tecnología puede convertirse en una gran aliada en la lucha contra enfermedades tan complejas como las autoinmunes, y no solo en medicina, sino también en sectores como las finanzas, la educación y muchos otros.



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

**AGRADECIMIENTOS**

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca posdoctoral otorgada a la doctora Ana Laura Lezama Sánchez (CVU 788155). Al Laboratorio de Ingeniería Ontológica de la Facultad de Ciencias de la Computación de la BUAP, dirigido por la doctora Mireya Tovar Vidal, por proporcionar los recursos computacionales y el apoyo para el desarrollo de este estudio.

## REFERENCIAS

Baek H-S, Kim J, Jeong C *et al.* (2024). Deep learning analysis with gray scale and Doppler ultrasonography images to differentiate Graves' disease. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 109(11):2872-2881.

De Francisco Hernández ÁLM (2024). Inteligencia artificial: La transformación de la medicina moderna hacia la medicina del futuro. *Cantabria Académica* 372. Real Academia de Medicina de Cantabria.

Dra JAN (2012). Inmunopatogenia de las enfermedades autoinmunes. *Revista Médica Clínica Las Condes* 23(4):464-472.

Garzón Sánchez H y Quintana López G (2022). Fase de investigación para la implementación de un sistema experto para diagnóstico y seguimiento de enfermedades autoinmunes. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia. Repositorio Institucional.

Kokuina E (2001). De la autoinmunidad a las enfermedades autoinmunes. *Revista Cubana de Medicina* 40(1):36-44.

Merino Balaguer A (2024). De la consulta médica a la generación del diagnóstico usando inteligencia artificial. Trabajo de fin de grado, Universidad de Alicante, Escuela Politécnica Superior.

Pedraza Caro JD (2023). La inteligencia artificial en la sociedad: Explorando su impacto actual y los desafíos futuros. Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos.

Rouhiainen L (2018). *Inteligencia artificial: 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro.* Barcelona: Alienta Editorial.

Samuels H, Malov M, Saha Detroja T *et al.* (2022). Autoimmune disease classification based on PubMed text mining. *Journal of Clinical Medicine* 11(15):4345.

Sánchez-Rodríguez SH, Barajas-Vásquez GE, Ramírez-Alvarado ED *et al.* (2004). Lupus eritematoso: enfermedad autoinmune sistémica y órgano específica. *Revista Biomédica* 15(3):173-180.

***Ana Laura Lezama-Sánchez***
***Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación***
***Facultad de Ciencias de la Computación***
***Benemérita Universidad Autónoma de Puebla***
***analaura.lezama@correo.buap.mx***

***Mireya Tovar Vidal***
***Facultad de Ciencias de la Computación***
***Benemérita Universidad Autónoma de Puebla***

© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.



# Hidrogel de quitosano para robótica blanda y aplicaciones biomédicas

Salvador Enrique **Lobato Larios**

Considerado antes como un material de desecho formado a partir de caparazones de crustáceos e insectos, el quitosano es ahora reconocido como un material moderno, útil y versátil. El quitosano se obtiene al eliminar químicamente los grupos acetilo del polímero natural de la quitina por medio de la desacetilación. El resultado es un polisacárido con tolerancia biológica favorable, que el cuerpo suele aceptar y que, tras cumplir su función, puede degradarse de forma natural. Cabe señalar que estos atributos pueden variar según la pureza del material, el grado de desacetilación y la formulación empleada, por lo que su desempeño y seguridad deben evaluarse caso por caso.

En formulaciones adecuadas, el quitosano puede formar hidrogeles capaces de contener grandes volúmenes de agua sin disolverse y reaccionar a estímulos externos; por ejemplo, se expande en respuesta a medios ácidos y se contrae en un medio básico. Puede convertir señales de su entorno en movimiento o liberar de manera dosificada una sustancia. Por consiguiente, el quitosano es un material apropiado para la robótica blanda (láminas que se doblan como “músculos” suaves), actuadores inteligentes (microválvulas que abren y cierran sin motores) y sistemas de liberación controlada de fármacos (cápsulas que sueltan el medicamento justo cuando y donde se necesita).

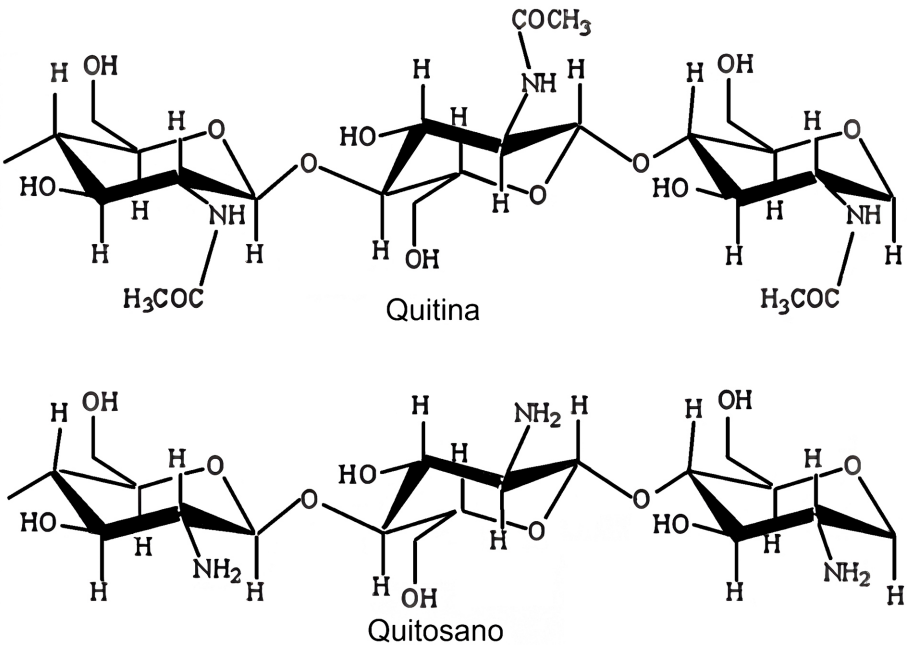



**Figura 1.** Estructura molecular de la quitina y el quitosano (Baharlouei *et al*., 2022).

El quitosano resulta ser una opción viable en ciertos escenarios, en virtud de su respuesta estímulo-detección, que puede ser utilizada en actuadores blandos y en sistemas de liberación. Sin embargo, es importante mencionar que su rendimiento dependerá del diseño y la química del entorno en que esté inmerso. Su versatilidad y sensibilidad lo sitúan como una buena opción para dispositivos portátiles, implantes que se adaptan al cuerpo humano y microactuadores autónomos que pueden realizar su trabajo en silencio. Estos sistemas no funcionan "sin energía", sino que emplean fuentes energéticas distintas a los motores tradicionales, como gradientes químicos u osmóticos, o estímulos externos (p. ej., campos magnéticos cuando se incorporan partículas funcionales). La Figura 1 muestra la estructura química comparativa de la quitina y el quitosano.

El quitosano se obtiene al quitarle a la quitina unas partes químicas llamadas grupos acetilo; con ello quedan al descubierto grupos amino ($–NH_2$), que son los que le dan su capacidad de responder al entorno. Cuando el ambiente es ácido, esos grupos se cargan positivamente ($–NH_3^+$), las cadenas del material se empujan entre sí, entra más agua y el hidrogel se expande. Si el ambiente pasa a ser básico, esas cargas desaparecen, las cadenas se acercan, sale agua y el material se encoge, como se muestra en la Figura 2. Esta expansión y contracción hace del quitosano un material "inteligente", capaz de cambiar de forma y volumen según el lugar en donde se encuentre, y generar movimiento sin necesidad de motores. Esto se logra al convertir la energía del entorno en deformación mecánica; es decir, sin la necesidad de motores, pero sí de una fuente de activación.

#### APLICACIONES BIOMÉDICAS DEL QUITOSANO

Dado que el quitosano presenta buena compatibilidad biológica, puede degradarse de forma natural y muestra propiedades mucoadhesivas, tiene muchas aplicaciones en medicina. Algunas de las más comunes son la liberación controlada de fármacos llevada a cabo por microesferas y nanopartículas de quitosano que pueden encapsular múltiples medicamentos y liberarlos de forma selectiva en respuesta al pH. También ayuda a la regeneración de tejidos, utilizándose como una base sobre la cual las células pueden crecer y contribuir a la cicatrización y reparación de tejidos blandos.

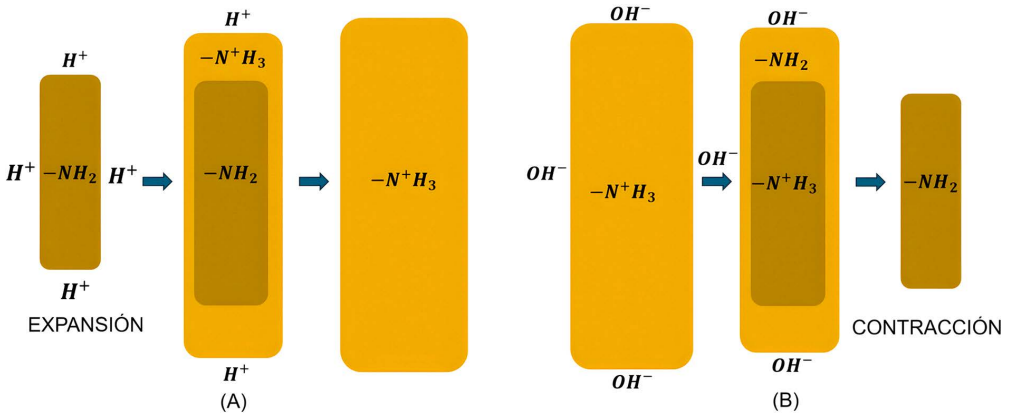



**Figura 2.** (A) Expansión y (B) contracción del hidrogel de quitosano.

Se han llevado a cabo ensayos clínicos prospectivos, aleatorios y multicéntricos en 287 pacientes, donde se comparó una pasta hidrogel derivada de quitosano (CDHP) frente a un hidrogel hidroactivo comercial (CHG) para la curación del interior de heridas profundas, y se reportó una eficacia comparable entre ambos, lo que apoya el uso clínico del quitosano como alternativa segura en el manejo avanzado de heridas (Nasir *et al*., 2023). Como en toda investigación clínica, el alcance de esta conclusión depende de factores como la muestra, el seguimiento y los resultados evaluados; por lo tanto, el estudio se interpreta como un apoyo relevante para este escenario, pero no como conclusión aplicable para todas las formulaciones de quitosano.

También se han desarrollado nanopartículas magnéticas recubiertas con quitosano, capaces de transportar y liberar un fármaco antitumoral de origen vegetal, dependiendo del pH de la zona en la que se encuentren. Los estudios *in vitro* muestran una gran eficacia para combatir las células de cáncer de mama y una citotoxicidad mínima para las células sanas, lo que refuerza el potencial del quitosano como plataforma para la administración de fármacos antitumorales (Taherian *et al*., 2021). Sin embargo, esta conclusión debe interpretarse como una evidencia preliminar del potencial y del desempeño observado bajo condiciones controladas, pero no como confirmación de seguridad ni de resultados clínicos. Para sostener esas afirmaciones se requieren estudios *in vivo* y, posteriormente, investigaciones en humanos.

Desai *et al*. (2023) ofrecen una revisión sobre el quitosano, en la que se destacan las ventajas de utilizar este biopolímero como una opción bien tolerada por el organismo y capaz de descomponerse con el tiempo, con un futuro esperanzador como vehículo para la liberación de fármacos mediante diferentes modalidades de administración, como vía oral, ocular, transdérmica, nasal y vaginal. Los autores también proporcionan una descripción general de las aplicaciones clínicas de materiales médicos hechos de quitosano, como los apósitos y los soportes para ingeniería de tejidos (“andamios”). Estos últimos se utilizan en la regeneración de huesos, cartílago, córnea y tejido periodontal. Utilizando el ejemplo de esta regeneración, los autores explican que, al hacer modificaciones químicas, se pueden cambiar las propiedades críticas de los quitosanos, como la solubilidad, la mucoadhesión y la capacidad de respuesta al estímulo, lo que lleva a una liberación de fármacos más dirigida y sostenida; además, puede favorecer la regeneración de los tejidos. Esta evidencia respalda su uso como base de sistemas inteligentes en medicina y ofrece un marco directo para conectar las propuestas de actuadores blandos con escenarios clínicos reales. Con el fin de evitar cualquier extrapolación de los resultados obtenidos en el laboratorio a escenarios reales, es esencial establecer un claro concepto de posibilidad tecnológica en relación con aplicación real.

Por otro lado, se resalta la utilización de nanopartículas de quitosano y sus derivados como sistemas de liberación controlada y dirigida, con énfasis en las características mucoadhesivas, la respuesta a cambios de pH, la sensibilidad a la temperatura y las modificaciones químicas, a fin de optimizar las propiedades de absorción, biodisponibilidad y selectividad. Tales procedimientos buscan aplicaciones en oncología y vacunas, acompañadas por procesos de cicatrización de heridas e ingeniería de tejidos (Biswas *et al*., 2025). Los trabajos de Yun y colaboradores (2024) consistieron en la evaluación de un canal biodegradable compuesto por colágeno y quitosano como vehículo para células madre neuroepiteliales, en un modelo de lesión transectada del nervio ciático en ratas. Los autores comunican una mejor recuperación funcional, es decir, mejor conducción nerviosa y mayor capacidad de regeneración, comparando con un canal sin células madre; adicionalmente, el canal compuesto por colágeno y quitosano se degradó completamente en 14 semanas. Estos hallazgos se basan en un modelo animal, que ayuda a entender el desempeño en contextos fisiológicos; sin embargo, el paso final es comprobarlo en humanos.

#### QUITOSANO COMO ACTUADOR EN ROBÓTICA BLANDA

En el campo de la robótica blanda, el quitosano se ha explorado con buenos resultados para fabricar músculos artificiales, microválvulas y micropinzas. Gracias a su comportamiento dependiente del pH y a la respuesta a los líquidos iónicos, las láminas de quitosano pueden doblarse, estirarse o contraerse, imitando movimientos musculares naturales. En varios estudios, pequeños robots blandos han sido diseñados mediante la utilización de hidrogel, junto con partículas magnéticas diminutas. Se ha observado que, al aproximar un imán desde el exterior, estos microrrobots pueden doblarse y deslizarse sin tocarlos. En simulaciones se efectuaron movimientos precisos, tales como arrastres, que pueden resultar útiles en situaciones de emergencia, como, por ejemplo, ayudar a deshacer un coágulo (Wang *et al*., 2025). En este caso, se deben distinguir los diversos niveles de evidencia, ya que la simulación no es equivalente a una aplicación real, la cual requiere más pruebas de control, seguridad y desempeño.

En una investigación llevada a cabo por Maiz y sus colaboradores (2022) se describe un hidrogel de quitosano que puede ser impreso en 3D, cuya formación de gel inducida por pH (mediante baños de NaOH) permite fabricar piezas con geometría a la medida que conservan la inteligencia del material. Después de optimizar parámetros de impresión como viscosidad, velocidad y altura de capa, las estructuras resultantes reproducen la respuesta al pH descrita en la sección anterior, y presentan flexión inducida eléctricamente por transporte iónico. Estas estructuras son actuadores blandos funcionales (láminas que se doblan, microválvulas y músculos micrométricos). El término “transporte iónico” se refiere al movimiento de iones en el material hidratado. Por su parte, “flexión inducida

© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.





© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

eléctricamente" se refiere a una curvatura producida al aplicar un estímulo eléctrico que redistribuye esos iones y el agua, generando una deformación. Estas estructuras impresas son compatibles con células y se degradan poco a poco. Por lo tanto, pueden usarse como soporte para la creación de tejido y como implantes que cambian de forma dependiendo del medio. No obstante, su rendimiento real dependerá de su estabilidad mecánica (por ejemplo, fragilidad y resistencia), su comportamiento en un ambiente fisiológico (por ejemplo, un valor de pH cercano a la neutralidad, presencia de sales y proteínas), y los requisitos de esterilización y regulación en aplicaciones de contacto directo y prolongado con tejidos.

Basu y colaboradores (2024) presentan una revisión sobre diferentes tecnologías en la creación de músculos artificiales y sensores en la rehabilitación, particularmente en la medición, modelado y asistencia de la función muscular mediante exoesqueletos, actuadores y dispositivos portátiles. Su investigación sirve como una guía sobre cómo situar la creación de actuadores blandos de quitosano dentro del contexto clínico e ingenieril. Abarca desde la adquisición de parámetros musculares hasta la evaluación de funciones musculoesqueléticas, la implementación de sensores corporales y la asistencia a la recuperación y seguimiento del paciente. Destacan los materiales y tecnologías más comunes en la robótica blanda, como el hidrogel y el híbrido polímero-conductor.

## PERSPECTIVAS

En los próximos años, el desarrollo del quitosano en los campos de la biomedicina y la robótica blanda no dependerá tanto de la demostración de su capacidad de movimiento, sino más de resolver estas preguntas prácticas: su capacidad de controlar su respuesta, la estabilidad del material en su entorno fisiológico y la fabricación de dispositivos reproducibles. En el caso de los actuadores blandos, por

ejemplo, no se trata solo de lograr doblar una lámina, sino hacerlo de manera repetida a lo largo de varios ciclos, preservando su integridad mecánica sin volverse frágil con el uso. En el campo médico, por otra parte, el entorno real es a menudo más exigente que el laboratorio. Por ello la tendencia actual es hacia sistemas híbridos en los cuales el quitosano se combina con líquidos iónicos, nanopartículas u otros polímeros.

Un ejemplo en esta dirección es el empleo del quitosano carboximetilado en combinación con MXenes, láminas ultrafinas y conductoras cuya superficie posee una alta afinidad por el agua y facilita la absorción de humedad por parte del material. Una vez hidratado, cambia por efecto interno, lo que se traduce en hinchamiento. Si la humedad incide predominantemente en un solo lado del material, en el lado opuesto se produce hinchamiento en menor medida. Esto origina una curvatura por expansión desigual.

Adicionalmente, la película no es del mismo espesor en todas las zonas de su longitud, por lo que el material se curva en la dirección en la que es mecánicamente más favorable hacerlo. Esta forma de activación, basada en estímulos del entorno, es la que se asocia con el término "bajo consumo de energía", que no hace referencia a cero consumo. En este caso se entiende como activación por el gradiente de humedad, sin necesidad de motores. Sin embargo, el empleo práctico de estos híbridos depende del comportamiento sostenido en el tiempo (Xu *et al*., 2025).

Asimismo, es importante situar al quitosano frente a otros hidrogeles ya consolidados como el alginato, el PEG y la poliacrilamida, que tienden a tener características más estables y comparables entre preparaciones o mayor resistencia estructural. Así, el quitosano puede ofrecer ventajas específicas, como la posibilidad de ajustar su química y su capacidad mucoadhesiva, pero su selección tendrá sentido solo cuando esas ventajas se traduzcan en mejoras medibles en seguridad, control y desempeño para un escenario concreto.

En conclusión, el futuro del quitosano no es solo la generación de nuevos materiales, sino la capacidad de transformar las pruebas de concepto en dispositivos confiables, validados y aptos para su implementación práctica.

## REFERENCIAS


Baharlouei P and Rahman A (2022). Chitin and Chitosan: Prospective Biomedical Applications in Drug Delivery, Cancer Treatment, and Wound Healing. *Marine Drugs* 20:460. DOI: https://doi.org/10.3390/md20070460.

Basu V, Cheng L and Zheng B (2024). Technologies and Sensors for Artificial Muscles in Rehabilitation. *Sensors* 24(23):7532. DOI: https://doi.org/10.3390/s24237532.

Biswas R, Mondal S, Ansari MA *et al.* (2025). Chitosan and Its Derivatives as Nanocarriers for Drug Delivery. *Molecules* 30(6):1297. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules30061297.

Desai N, Rana D, Salave S *et al.* (2023). Chitosan: A Potential Biopolymer in Drug Delivery and Biomedical Applications. *Pharmaceutics* 15:1313. DOI: https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15041313.

Maiz-Fernández S, Pérez-Álvarez L, Silván U *et al.* (2022). pH-Induced 3D Printable Chitosan Hydrogels for Soft Actuation. *Polymers* 14(3):650. DOI: https://doi.org/10.3390/polym14030650.

Nasir NAM, Saad AZM, Bachok NSA *et al.* (2023). A Prospective Multicenter Randomized Controlled Trial to Evaluate the Efficacy of Chitosan Hydrogel Paste in Comparison to Commercial Hydroactive Gel as a Wound Bed Preparation. *Indian Journal of Plastic Surgery* 56(01):044-052. DOI: https://doi.org/10.1055/s-0042-1759503.

Taherian A, Esfandiari N and Rouhani S (2021). Breast cancer drug delivery by novel drug-loaded chitosan-coated magnetic nanoparticles. *Cancer Nano* 12:15. DOI: https://doi.org/10.1186/s12645-021-00086-8.

Wang J, Liu B, Li K *et al.* (2025). Magnetic Actuation Analysis of Chitosan Hydrogel Robots for Emergency Medical Applications. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* 22: 4548-4558. DOI: https://doi.org/10.1109/TASE.2023.3315482.

Xu L, Ling Y, Li Z *et al.* (2025). MXene/Carboxymethyl Chitosan Moisture Responsive Soft Actuator with Diode-Like Actuation for Versatile Applications Driven by Human Metabolism. *Advanced Science* e07845. DOI: https://doi.org/10.1002/advs.202507845.

Yun C, Li W, Qiao Y *et al*. (2024). Collagen protein-chitosan nerve conduits with neuroepithelial stem cells promote peripheral nerve regeneration. *Scientific Reports* 14:20748. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-71435-x.



***Salvador Enrique Lobato Larios***
***Instituto de Ciencias Ambientales***
***Universidad de la Sierra Juárez, Oaxaca***
***slobato007@gmail.com***

# Nanomateriales fabricados con luz: el poder de la energía láser

Nicolás Enrique **Vázquez-Barragán**
José Guadalupe **Quiñones-Galván**

La investigación científica de los materiales a escala diminuta ha crecido de manera significativa en los últimos años, impulsada principalmente por la demanda de dispositivos electrónicos cada vez más compactos. Pero ¿qué se entiende por "lo diminuto"? Los nanomateriales son estructuras sólidas cuyas dimensiones alcanzan apenas unos pocos nanómetros, típicamente entre 1 y 100 nanómetros, es decir, la millonésima parte de un milímetro. Para ponerlo en perspectiva, un cabello humano tiene un grosor de aproximadamente 70,000 nanómetros y podemos verlo sin dificultad, mientras que un nanomaterial resultaría casi invisible a simple vista (Figura 1). Los nanomateriales resultan fascinantes porque, al encontrarse en dimensiones cercanas a la escala atómica, pueden comportarse de manera muy distinta a los materiales macroscópicos. Su tamaño reducido les confiere propiedades ópticas, eléctricas o químicas únicas. Una forma de aprovechar estas características es utilizarlos en forma de películas delgadas.

En años recientes, uno de los métodos que más ha llamado la atención para la fabricación de películas delgadas ha sido el depósito por láser pulsado (PLD, por sus siglas en inglés). Esta técnica ha ganado relevancia por su versatilidad, ya que permite obtener películas delgadas de casi cualquier material, incluidos aquellos que son muy resistentes al calor o que requieren conservar

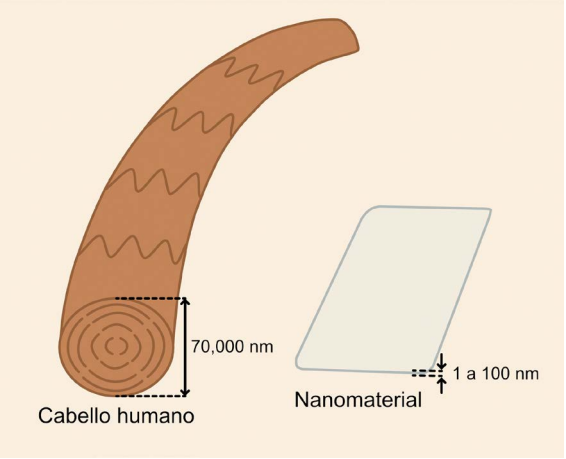



**Figura 1.** Comparativa esquemática entre el espesor de un cabello humano y un nanomaterial.

composiciones químicas complejas. Gracias a su capacidad de replicar fielmente la composición del material original, el PLD ofrece una ventaja significativa frente a otros métodos.

En este artículo se presenta el fundamento físico de la técnica de PLD, la interacción del láser con la materia y el proceso mediante el cual se forma una película delgada. Además, se mencionan las principales aplicaciones de los nanomateriales obtenidos por PLD en diversos ámbitos de la ciencia y la tecnología, y se describen en detalle las limitaciones inherentes a esta técnica.

## DEPÓSITO POR LÁSER PULSADO: UN CINCEL DE LUZ

La técnica de PLD es, en esencia, bastante sencilla de entender. Consiste en disparar pulsos de luz láser que impactan sobre la superficie de un material denominado blanco. Con cada pulso, se desprende una pequeña cantidad de material que viaja en dirección al sustrato. Tras algunos minutos y miles de pulsos, el material expulsado se acumula gradualmente hasta formar una película delgada. La Figura 2 muestra este proceso, así como los elementos de un sistema PLD.

En términos más simples, imagine que usted es un arqueólogo y quiere estudiar fragmentos de una roca interesante. Para ello, usa un mazo y un cincel. Cada golpe sobre la roca representa un pulso del láser en el material blanco. De esta manera, piezas pequeñas de la roca son expulsadas en todas las direcciones en forma de polvo, astillas y fragmentos de distintos tamaños. Ahora bien, si usted coloca una superficie frente a su zona de trabajo, los fragmentos eyectados por el golpeteo terminarán acumulándose poco a poco hasta cubrirla por completo, dando lugar a una capa delgada.

## LA FUENTE DE UN SISTEMA PLD

El corazón de un sistema PLD es el láser. Pero, ¿en qué se diferencia de la luz convencional? La luz de una lámpara se dispersa en todas las direcciones, ya que su función es iluminar un espacio determinado. En cambio, la luz láser posee tres características únicas: es coherente, direccional e intensa (Banús Gassol, 2008). Esto significa que los fotones, partículas que componen la luz, viajan alineados y con la misma energía, formando un haz capaz de concentrar una gran cantidad de energía en un punto específico. Debido a estas propiedades, un láser en un sistema PLD puede erosionar un material de manera controlada, capaz de trabajar con precisión casi milimétrica sobre el material blanco.

## INTERACCIÓN LUZ-MATERIA: FORMACIÓN DEL PLASMA

Cuando la superficie del blanco absorbe la energía del láser, provoca la expulsión de una gran variedad de partículas: átomos, electrones, moléculas, iones (átomos con electrones faltantes) e incluso fragmentos más grandes, como se muestra en la Figura 3. Esto puede ocurrir por dos mecanismos distintos. En uno de ellos, el material se calienta de forma muy rápida, por lo que la superficie atraviesa los estados sólido, líquido y gaseoso en tiempos extremadamente cortos (régimen térmico). En cambio, cuando los pulsos son mucho más breves o intensos, el material no llega a calentarse, sino que la energía absorbida es suficiente para romper enlaces químicos directamente, sin pasar por los estados anteriores (régimen no térmico). En ambos casos, estos mecanismos provocan la eyección de partículas del material (Salas *et al.*, 2010).

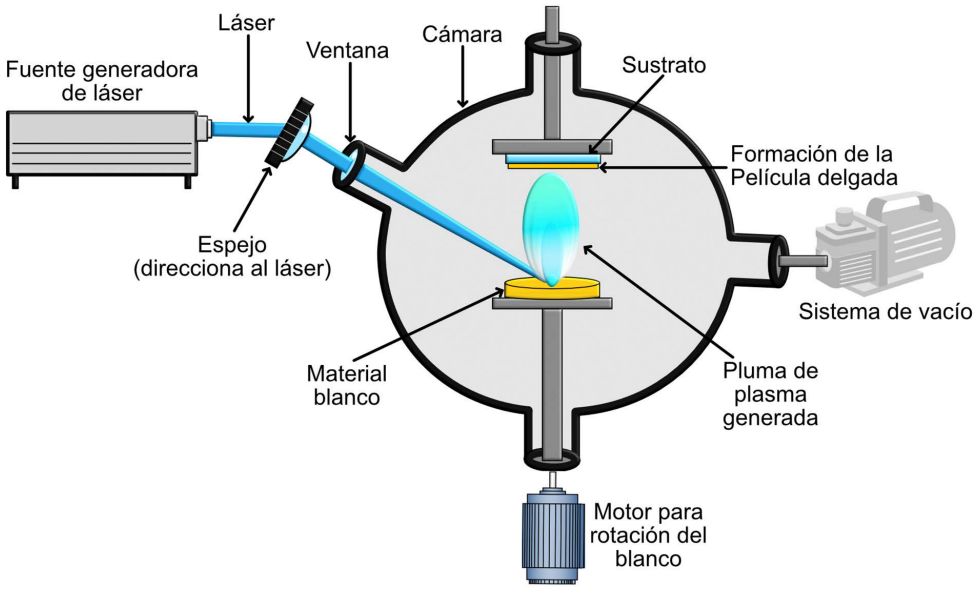



**Figura 2.** Esquema ilustrativo de un sistema PLD, la pluma de plasma generada y la formación de una película delgada.

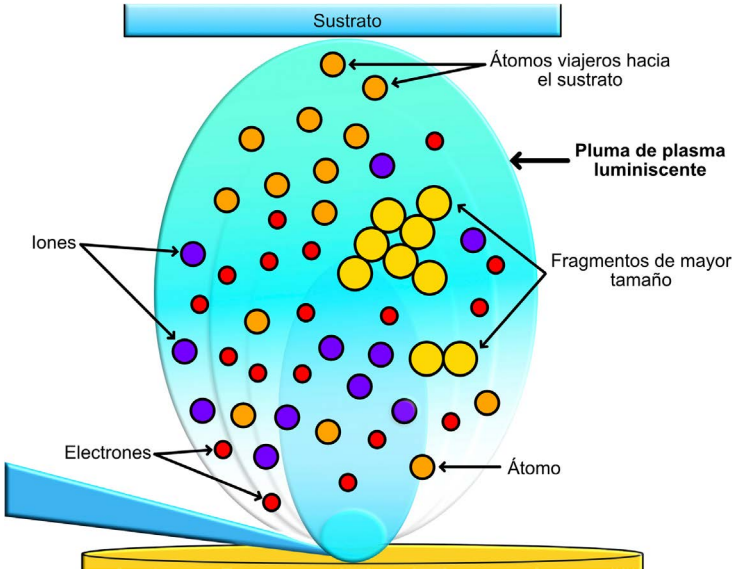



**Figura 3.** Imagen representativa del plasma formado.

Estas partículas expulsadas pueden colisionar entre sí, casi como si se tratara de una partida de billar, pero a energías muchísimo más altas. Durante estas colisiones, parte de la energía se transfiere entre átomos y electrones, lo que hace que algunas de estas partículas adquieran momentáneamente más energía. Cuando regresan a su estado inicial, liberan ese excedente en forma de luz. Este proceso ocurre de manera continua mientras el láser siga impactando en el blanco, lo que mantiene visible la pluma de plasma luminiscente durante toda la formación de la película (Figura 3) (Shepelin *et al*., 2023).

#### EL VIAJE HACIA EL SUSTRATO

Antes del crecimiento de la película delgada, el aire ambiental debe ser extraído de la cámara donde se encuentran el blanco y el sustrato mediante un sistema de vacío, como se observa en la Figura 2. Esto tiene como finalidad extraer moléculas ambientales que podrían alterar la energía y trayectoria de las especies eyectadas, así como evitar la formación de compuestos no deseados (comúnmente óxidos). De esta manera, las partículas tienen un camino más despejado. Así, se garantiza que las especies viajeras sean únicamente aquellas correspondientes al blanco y, además, arriben de manera más controlada al sustrato, normalmente colocado en dirección perpendicular al plasma.

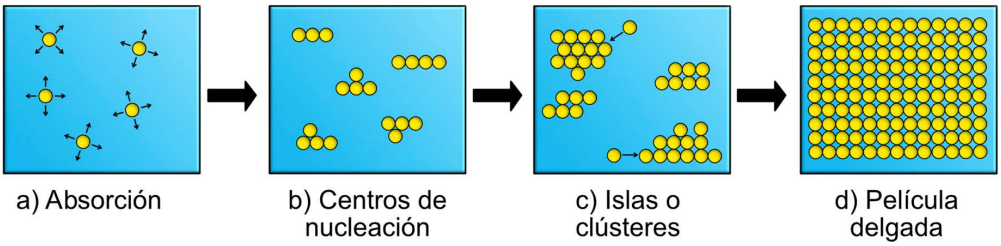



**Figura 4.** Proceso de formación de una película delgada.

### ¿CÓMO SE ORGANIZA LA PELÍCULA DELGADA?

Las partículas provenientes del plasma se adhieren al sustrato mediante un proceso denominado adsorción. Como si se tratara de bolitas de plastilina que se van pegando a una pared, una tras otra acumulándose sobre la superficie hasta formar una capa uniforme. Dicho así suena bastante simple, pero a nivel microscópico sucede un fenómeno muy interesante: los átomos entrantes, llamados adátomos, se desplazan sobre la superficie debido a su elevada energía cinética, buscando sitios en donde requieran gastar la menor cantidad de energía posible. La naturaleza siempre "opta" por el mínimo esfuerzo. Una vez que encuentran un lugar favorable, otros adátomos recién llegados tenderán a alojarse cerca de ellos, uniéndose químicamente (formación de enlaces). Este proceso puede ocurrir de manera aleatoria sobre la superficie del sustrato, dando lugar a pequeños conjuntos de adátomos en distintos puntos. Estos grupos, denominados centros de nucleación, representan la etapa inicial del proceso.

Conforme arriban más adátomos, los centros de nucleación continúan creciendo hasta convertirse en "islas" o clústeres, los cuales pueden tener formas y tamaños diferentes. Con el tiempo, los adátomos que siguen llegando se desplazan por la superficie y se incorporan preferentemente a las islas más grandes, ya que esto reduce su energía total. A medida que las islas crecen, comienzan a acercarse entre sí y, cuando finalmente se tocan, se fusionan para formar estructuras de mayor tamaño. Este proceso, denominado coalescencia, es el mecanismo mediante el cual el material evoluciona hacia una capa continua que recubre todo el sustrato (Greene, 2010). Las etapas descritas se representan gráficamente en la Figura 4.

En vez de pensar en átomos, moléculas y demás partículas microscópicas, imagine que son gotitas de lluvia cayendo sobre un vidrio. Al inicio, las gotas caerán separadas (centros de nucleación), pero conforme caen más gotas, estas se harán más grandes (islas o clústeres). Tras algunos minutos, las gotas terminarán juntándose para formar un charco de agua que cubre toda la superficie del vidrio (película).

### APLICACIONES DE NANOMATERIALES OBTENIDOS POR PLD

La técnica de PLD ha sido ampliamente utilizada en la investigación científica debido a su capacidad para depositar materiales complejos con alta calidad. Esta especial característica la ha convertido en una herramienta crucial en diversas áreas tecnológicas. En el campo de la energía solar, se ha empleado para fabricar semiconductores, como selenuro de cobre, indio y galio (CIGS) o sulfuro de cobre, zinc y estaño (CZTS) e incluso materiales de estructura perovskita (Lu *et al*., 2024). Estos compuestos, en forma de película delgada, se han integrado en celdas solares con excelentes eficiencias de conversión y, en algunos casos, eficiencias equiparables a las de los dispositivos fotovoltaicos de silicio.

También se han obtenido materiales superconductores como el óxido de bario, cobre e itrio (YBCO) y el óxido de bismuto, estroncio, calcio y cobre (BSCCO), fundamentales para diseñar dispositivos capaces de transportar energía casi sin pérdidas.

Asimismo, se ha usado para desarrollar materiales termoeléctricos muy prometedores, como el telururo de bismuto ($Bi_2Te_3$) o el telururo de antimonio ($Sb_2Te_3$), capaces de aprovechar el calor residual y convertirlo en electricidad con resultados bastante optimistas.

En el área de la medicina, se han sintetizado capas de óxido de zinc (ZnO) y dióxido de titanio ($TiO_2$) para uso en biosensores, capaces de detectar moléculas anómalas incluso a bajas concentraciones. Además, se ha utilizado para recubrir prótesis e implantes óseos con fosfato de calcio (CaP) debido a su biocompatibilidad con el tejido óseo.

Por último, en el ámbito del almacenamiento de energía, se han desarrollado películas delgadas de un compuesto que combina litio, vanadio, silicio y oxígeno, empleado en la fabricación de baterías recargables en estado sólido. Este tipo de baterías resulta particularmente atractivo debido a la creciente demanda de fuentes de energía más compactas y, a su vez, son más seguras que la tecnología convencional (Duta y Popescu, 2021). Estas aplicaciones demuestran que esa técnica tiene gran relevancia en la fabricación de nanomateriales y seguirá siendo esencial en el futuro.

## DESAFÍOS DEL PLD EN LA FABRICACIÓN DE NANOMATERIALES

Si bien la técnica de PLD posee ventajas excepcionales para la estructuración de nanomateriales, también presenta algunos desafíos que limitan su uso a gran escala. Uno de ellos es la dificultad de producir películas delgadas homogéneas sobre áreas relativamente grandes, es decir, superficies del orden de algunos centímetros cuadrados. En estos casos, el espesor puede variar sustancialmente a lo largo del sustrato. Esto sucede porque la pluma del plasma concentra una mayor cantidad de material en la región central que en sus extremos. Como consecuencia, la película delgada suele tener un mayor espesor en el centro que en los bordes, lo que puede afectar sus propiedades físicas. Además, el crecimiento suele ser relativamente lento, ya que se eyecta una cantidad limitada de material del blanco tras cada pulso, lo que se traduce en tiempos más largos cuando se requieren películas de mayor espesor.

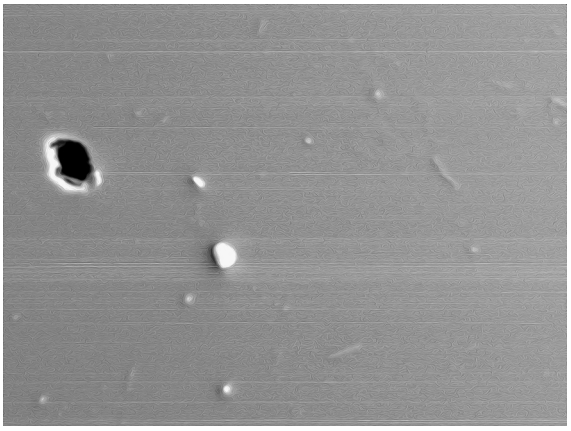


**Figura 5.** Presencia de "droplets" en la superficie de una película delgada obtenida por PLD.

Otro desafío importante es la contribución de fragmentos superficiales, conocidos como "droplets", que pueden ser expulsados del blanco durante el proceso. Estos agregados modifican las características morfológicas de la película y, con ello, sus propiedades ópticas, lo que afecta su desempeño en algunas de las aplicaciones mencionadas anteriormente. La Figura 5 muestra una imagen obtenida con un microscopio electrónico de barrido, en la que se observan estos cúmulos superficiales de material. En conjunto, estas limitaciones explican por qué el PLD aún no ha podido emplearse masivamente a nivel industrial.

## CONCLUSIONES

La técnica de depósito por láser pulsado se ha consolidado como una herramienta sumamente importante para la fabricación de películas delgadas gracias a su simplicidad, precisión y adaptabilidad.

En este artículo se describieron los principios físicos del PLD, la interacción entre la luz láser y la materia, la organización atómica durante el crecimiento de la película, así como sus aplicaciones en áreas clave como la energía solar, superconductividad, termoeléctricos, medicina y almacenamiento de energía.



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

En la actualidad, ante la necesidad de diseñar nanomateriales con estructuras cada vez más complejas y funcionales, el PLD resulta ser crucial. Su alta capacidad para estructurar composiciones químicas avanzadas de alta calidad lo distingue de otros métodos convencionales, particularmente en un panorama donde los materiales avanzados son prioritarios en la agenda tecnológica global.

A pesar de los retos que enfrenta el PLD, relacionados con la producción en áreas extensas, su baja tasa de crecimiento y la contribución de agregados superficiales que limitan su uso pleno a gran escala, continúa siendo un pilar competitivo para la fabricación de nanomateriales. Más allá de su función como técnica de depósito, el PLD seguirá abriendo posibilidades para el estudio y desarrollo de nuevos nanomateriales, contribuyendo al avance de diversas áreas de la ciencia y la tecnología en los años venideros

## REFERENCIAS


Banús Gassol JM (2008). Física del láser. *Archivos Españoles de Urología* 61:961-964.

Greene JE (2010). Thin Film Nucleation, Growth, and Microstructural Evolution: An Atomic Scale View. En Martin Peter M (Ed.), *Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings* (pp. 554-558). William Andrew. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-2031-3.00012-0.

Duta L and Popescu AC (2021). Current research in pulsed laser deposition. *Coatings* 11(3):274. DOI: https://doi.org/10.3390/coatings11030274.

Lu X, Fan X, Zhang H *et al*. (2024). Review on Preparation of Perovskite Solar Cells by Pulsed Laser Deposition. *Inorganics* 12(5):1-16. DOI: https://doi.org/10.3390/inorganics12050128.

Salas P, Keyffer J, Garica VJ *et al.* (2010). Regímenes de ablación láser en la elaboración de películas delgadas. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela* 25(4):121-126. Recuperado de: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652010000400012.

Shepelin NA, Tehrani ZP, Ohannessian N *et al.* (2023). A practical guide to pulsed laser deposition. *Chemical Society Reviews* 52(7):2294-2321. DOI: https://doi.org/10.1039/d2cs00938b.



***Nicolás Enrique Vázquez-Barragán***
***José Guadalupe Quiñones-Galván***
***Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara***
***nevb92@gmail.com***

# Del laboratorio al edificio:
## cómo la nanobiotecnología combate el síndrome del edificio enfermo

Susana **De la Rosa García**
Sergio Alberto **Gómez Cornelio**

¿Has escuchado hablar del Síndrome del Edificio Enfermo (SEE)? Si te imaginas un edificio con fiebre, te sorprenderá saber que no se refiere a eso. Este término no se refiere a su enfermedad, sino a la de las personas que lo habitan y que enferman de manera constante. ¿Qué lo causa? Principalmente, son las condiciones desfavorables en las que se encuentra el edificio laboral o habitacional. Un lugar con pocas ventanas o una mala ventilación es presa fácil para el crecimiento acelerado de diversos microorganismos como bacterias y microalgas, pero especialmente, hongos. Si a esto se le suman condiciones ambientales de alta humedad, los microorganismos aprovechan para formar biopelículas sobre los sustratos de construcción que, en muchos casos, se observan como manchas verdes oscuras o negras. Este fenómeno no solo se restringe a los edificios; también afecta a una amplia variedad de edificaciones, incluyendo escuelas, centros de trabajo, hospitales y viviendas.

¿Cuándo estamos ante un SEE? Esto ocurre cuando un grupo de personas que habita o frecuenta un inmueble presenta síntomas similares durante un período prolongado (Arif *et al*., 2016). La Organización Mundial de la Salud ha señalado que una proporción importante de edificios




**Figura 1.** Hongos (moho) desarrollándose sobre superficies construidas.

de oficinas puede presentar problemas de calidad del aire asociados al desarrollo de microorganismos como bacterias, hongos y microalgas. Algunas estimaciones sitúan esta cifra alrededor del 30 %, aunque puede variar ampliamente según el clima, la ventilación y el mantenimiento de los inmuebles (Heseltine y Rosen, 2009).

Los microorganismos que crecen en ambientes interiores húmedos de los edificios pueden tener efectos tanto sobre los materiales de construcción como sobre el ambiente interior. Por un lado, participan en el biodeterioro de materiales como pinturas, recubrimientos y superficies porosas. Por otro, su presencia en espacios habitados puede influir en la calidad del aire interior y asociarse a molestias o síntomas en los ocupantes.

Diversos estudios indican que una parte de los habitantes de estos edificios puede experimentar molestias o síntomas relacionados con estas condiciones, con rangos que suelen ubicarse entre el 10 % y el 30 % (Arif *et al.*, 2016), dependiendo del contexto y la población estudiada. Además, otros factores que agravan el SEE incluyen contaminantes químicos procedentes de materiales de construcción, mobiliario, equipos de oficina y aerosoles utilizados para el control de plagas.

## CRECIMIENTO DE HONGOS EN SUPERFICIES CONSTRUIDAS E IMPACTO EN LA SALUD

En regiones tropicales, como el sureste de México, las condiciones de alta humedad, abundante precipitación pluvial y temperaturas elevadas favorecen el crecimiento de hongos sobre las superficies construidas. En Tabasco, la humedad relativa promedio supera el 80 %, propiciando un ambiente ideal para el desarrollo de una gran variedad de especies fúngicas, lo que provoca problemas de moho –nombre común que se da al crecimiento visible de hongos sobre superficies húmedas– en hogares y espacios de trabajo (Figura 1).

Los hongos en los edificios no solo deterioran las estructuras, sino también representan un riesgo significativo para la salud de los ocupantes. Liberan una gran cantidad de esporas que se mantienen suspendidas y se dispersan en el aire, las cuales pueden ser inhaladas por los ocupantes del edificio. Además, estos organismos producen compuestos

orgánicos volátiles que pueden ser tóxicos cuando son inhalados (Crook y Burton, 2010).

Los síntomas del SEE pueden variar entre personas y suelen relacionarse con la exposición prolongada a ambientes interiores con humedad y crecimiento fúngico. Con frecuencia se presentan alergias, irritación de ojos y garganta, congestión nasal y problemas respiratorios como tos y asma. Algunas personas también reportan dolores de cabeza, fatiga o malestar general, síntomas que a menudo se confunden con padecimientos comunes. Aunque estos malestares no siempre son graves, pueden afectar la calidad de vida y el bienestar cotidiano de los ocupantes. En casos persistentes, pueden motivar a las personas a evitar o abandonar los espacios afectados, lo que también se refleja en ausentismo laboral y disminución de la productividad.

## IMPACTO AMBIENTAL DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN Y ECONOMÍA CIRCULAR PARA CONTRARRESTAR EL SEE

El problema del SEE no solo tiene implicaciones en salud y conservación de los edificios, también plantea retos ambientales. Muchas de las soluciones tradicionales contra el moho implican remodelaciones frecuentes, uso de químicos o reemplazo de materiales, lo que incrementa el impacto ambiental del sector de la construcción. La industria de la construcción figura entre las más contaminantes a escala mundial y se le atribuye cerca del 8 % de las emisiones globales de $CO_2$. Tan solo la producción de una tonelada de cemento genera una tonelada de $CO_2$ (Wu *et al*., 2024). Además, la fabricación de concreto, que incluye cemento, arena, grava y agua, incrementa significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero. A esto se suman los residuos generados por las remodelaciones necesarias para combatir la humedad y el moho.

En este contexto, la economía circular propone reducir los residuos desde el diseño mismo de las construcciones y prolongar la vida útil de los materiales (Angrisano y Fabbrocino, 2023). Este enfoque promueve el uso de materiales obtenidos mediante procesos más respetuosos con el ambiente, lo que puede favorecer edificios más sostenibles y resilientes.

## POSIBLES SOLUCIONES PARA CONTRARRESTAR EL CRECIMIENTO FÚNGICO EN EDIFICIOS

Para abordar el SEE, es necesario implementar soluciones integrales que mejoren la calidad del aire interior y prevengan el desarrollo de hongos. Algunas de estas soluciones incluyen la instalación de sistemas de ventilación adecuados y purificación de aire para garantizar una renovación constante del mismo y una filtración adecuada que elimine compuestos volátiles y esporas fúngicas. Sin embargo, estas medidas suelen ser costosas para la mayoría de los hogares y requieren la intervención de especialistas para su instalación. El control de la humedad es relevante para evitar el crecimiento de los hongos; no obstante, en un ambiente tropical, donde los niveles de humedad son muy altos, esta puede ascender en los edificios por capilaridad desde el subsuelo. Por ello, es necesario adquirir equipos deshumidificadores y mejorar el aislamiento térmico para evitar la acumulación de humedad en las estructuras.

Otra estrategia para evitar el desarrollo de hongos es el mantenimiento regular de los edificios, mediante procesos de remodelación que, aunque generan una alta cantidad de desechos de construcción, son necesarios para mantener las estructuras en buen estado y representan una alta inversión. Por ello, el uso de materiales de construcción con propiedades antimicrobianas, y particularmente antifúngicas, es fundamental en esta región de México. Una forma de lograrlo es promover la incorporación de compuestos químicos que ofrezcan resistencia contra microorganismos en pinturas, revestimientos y otros materiales constructivos para prevenir el crecimiento de hongos y bacterias.

En este punto surge una pregunta clave: ¿cómo pasan estas soluciones del laboratorio a los espacios donde realmente vivimos y trabajamos? Muchas de las estrategias contra el moho nacen en estudios científicos controlados, pero su verdadero desafío es llegar a materiales, pinturas y recubrimientos que puedan usarse en edificios reales. Ese tránsito del

experimento al muro de una casa o una escuela es justamente donde la nanobiotecnología comienza a jugar un papel interesante.

La nanotecnología representa una solución innovadora y potente; sin embargo, muchos compuestos nanotecnológicos o sustancias antimicrobianas se obtienen mediante procesos de síntesis química que no son compatibles con el medio ambiente. Es necesario adoptar prácticas de diseño y construcción sostenibles que favorezcan el uso de materiales no tóxicos, obtenidos a través de sistemas biológicos. Un ejemplo destacado son las nanopartículas obtenidas de plantas o microorganismos.

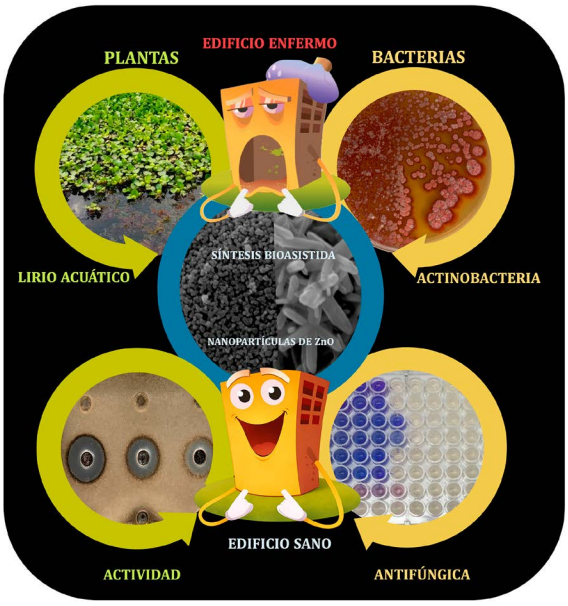



**Figura 2.** Nanobiopartículas obtenidas de plantas y actinobacterias para combatir los hongos en los edificios enfermos.

## BIOSÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS PARA EL CONTROL DE MICROORGANISMOS EN SUPERFICIES CONSTRUIDAS

Las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) y de plata (Ag) han sido ampliamente investigadas por sus propiedades antimicrobianas. Estas nanopartículas no solo pueden prevenir la degradación de los materiales de construcción, sino que también ayudan a mitigar problemas de salud relacionados con el crecimiento de microorganismos. Además, su compatibilidad con los materiales de construcción mejora las propiedades superficiales del concreto (Reches, 2018). La actividad antimicrobiana de estos nanomateriales se logra a través de diversos mecanismos de acción, incluyendo la interacción directa con las células fúngicas o bacterianas y la generación de especies reactivas que causan daño celular.

La síntesis de nanopartículas de ZnO y Ag puede realizarse mediante métodos convencionales o ecológicos. Los métodos convencionales generalmente implican el uso de solventes orgánicos y condiciones de alta presión y temperatura. En contraste, los métodos ecológicos emplean rutas biológicas mediadas por microorganismos o extractos de plantas (Figura 2). La utilización de extractos de plantas para la síntesis de nanopartículas es un enfoque sostenible que evita el uso de reactivos tóxicos para la formación de las nanopartículas.

La plata (Ag) utilizada durante siglos durante siglos por sus propiedades antimicrobianas, son especialmente efectivas contra una amplia gama de microorganismos, incluyendo microalgas, bacterias, hongos y virus. La síntesis de nanobiopartículas de plata implica el uso de extractos de plantas, microorganismos o enzimas que facilitan la reducción de iones de plata a su forma nanoparticulada, sin la necesidad de químicos tóxicos.

Más allá del conocimiento general disponible sobre las nanobiopartículas, algunos estudios recientes han comenzado a evaluar su uso en contextos específicos. En particular, se han probado sobre superficies construidas como una estrategia para proteger muros, recubrimientos y materiales frente al crecimiento de hongos. En algunos estudios realizados en México, por ejemplo, se han evaluado nanopartículas de doble hidróxido de calcio y zinc ($CaZn_2(OH)_6 \cdot 2H_2O$), materiales de baja toxicidad que han sido probados en secciones de muros de monumentos arqueológicos en Chichén Itzá, como el Templo de los Guerreros y el Tzompantli, con el propósito de proteger el patrimonio cultural contra los microorganismos deteriorantes (De la Rosa-García *et al*., 2024). Estas investigaciones forman parte de un esfuerzo más amplio por desarrollar nanomateriales obtenidos mediante rutas biológicas,



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.



© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.




© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

es decir, utilizando plantas o microorganismos en lugar de procesos químicos agresivos. Este enfoque busca soluciones más compatibles con el ambiente y potencialmente más seguras para su uso en espacios habitados.

En superficies de edificios públicos y privados en el estado de Tabasco se han identificado hongos de géneros principales como *Stachybotrys*, *Phoma*, *Aspergillus* y *Scolecobasidium*, que suelen crecer en ambientes húmedos y pueden afectar tanto a los materiales como a la calidad del aire interior. A partir de estos hallazgos, distintos estudios han explorado el uso de nanobiopartículas de óxido de zinc y plata obtenidas con ayuda de bacterias filamentosas (actinobacterias) y extractos vegetales como el del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), una planta invasora en diversos cuerpos de agua de Tabasco.

En pruebas de laboratorio, estas nanopartículas han mostrado capacidad para limitar el crecimiento de hongos. Es importante señalar que estos resultados provienen principalmente de estudios de laboratorio y pruebas controladas, por lo que su aplicación a gran escala en edificios habitados aún requiere evaluaciones adicionales.

Aunque todavía se trata de líneas de investigación en desarrollo, estos avances sugieren que en el futuro podrían diseñarse pinturas o recubrimientos con propiedades antifúngicas que ayuden a mantener espacios interiores más saludables. La idea es sencilla: usar la ciencia a escala nanométrica para enfrentar problemas muy cotidianos, como el moho en casas, escuelas u oficinas.



**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

## REFERENCIAS


Angrisano M and Fabbrocino F (2023). The Relation between environmental risk analysis and the use of nanomaterials in the built environment sector: A circular economy perspective. *Recent Progress in Materials* 5:1-21. DOI: http://dx.doi.org/10.21926/rpm.2301005.

Arif M, Katafygiotou M, Mazroei A *et al*. (2016). Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature. *International Journal of Sustainable Built Environment* 5: 1-11. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2016.03.006.

Crook B and Burton NC (2010). Indoor moulds, sick building syndrome and building related illness. *Fungal Biology Reviews* 24:106-113. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fbr.2010.05.001.

De la Rosa-García S, Sierra-Fernández A, Solís CG *et al*. (2024). Fungal community dynamics on limestone at the Chichén Itzá archaeological site in México driven by protective treatments. *Science of the Total Environment*, 906, 167563. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167563.

Heseltine E and Rosen J (2009). WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. World Health Organization, Europe.

Reches Y (2018). Nanoparticles as concrete additives: Review and perspectives. *Construction and Building Materials* 175:483-495. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.214.

Wu S, Shao Z, Andrew RM, Bing L *et al*. (2024). Global $CO_2$ uptake by cement materials accounts 1930-2023. *Scientific Data* 11:1409. DOI: https://doi.org/10.1038/s41597-024-04234-8.



***Susana De la Rosa García***
***Universidad Juárez Autónoma de Tabasco***

***Sergio Alberto Gómez Cornelio***
***Universidad Juárez Autónoma de Tabasco***
***Universidad Politécnica del Centro***
***sagomezcornelio@gmail.com***




**© Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

www.elementos.buap.mx

# ¿Cuánto cuesta conservar la naturaleza en México?

Julisa Guadalupe **Cabrera Borraz**
Ludger **Brenner**

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) tienen como objetivo principal conservar la diversidad biológica y cultural del país. Estas proveen servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación del clima, la provisión de alimentos y la recreación, entre otros. En este sentido, las ANP figuran como piedras angulares en las estrategias nacionales e internacionales de conservación (Dudley, 2008). No obstante, desde su adopción en 1992, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) reconoce que la conservación de la diversidad no puede limitarse al establecimiento normativo de las ANP, sino que requiere indispensablemente del suministro de recursos financieros suficientes para su gestión (Organización de las Naciones Unidas, 1992).

Incluso, el CDB reafirmó recientemente, con la adopción del Marco Mundial de la Diversidad Biológica de Kunming-Montreal, que el financiamiento adecuado es indispensable para la gestión efectiva de las ANP, y fijó compromisos concretos de movilización de recursos hacia el año 2030 (Organización de las Naciones Unidas, 2022).

De acuerdo con estimaciones comparativas señaladas por Bovarnick *et al*. (2010), para América Latina y el Caribe los gobiernos destinaron alrededor del 0.006 % del PIB a la gestión de ANP, cifra que se encuentra por debajo de lo necesario para cubrir las necesidades estimadas de una gestión efectiva.

| Sexenio | Presidente | Valor nominal Presupuesto ejercido (MXN) | Valor real Presupuesto ejercido (MXN) |
|---|---|---|---|
| **2000-2006** | Vicente Fox Quesada | 1,941,325,317.28 | 1,867,431,318.17 |
| **2007-2012** | Felipe Calderón Hinojosa | 6,738,595,606.97 | 6,495,330,716.31 |
| **2013-2018** | Enrique Peña Nieto | 8,339,692,219.83 | 8,042,074,124.32 |
| **2019-2024** | Andrés Manuel López Obrador | 6,782,613,616.82 | 6,471,562,218.44 |

**Tabla 1.** Presupuesto ejercido por sexenios (2000 a 2024). Notas: 1) El valor real representa el presupuesto ajustado por la inflación. 2) El presupuesto del sexenio 2000-2006 cuenta con datos a partir de 2002. Fuente: elaboración propia con datos solicitados a la Unidad de Transparencia, 2024.

En este contexto, México cuenta actualmente con 232 ANP bajo legislación y gestión federal. Aunque el sistema de ANP cubre 98 000 719 ha (CONANP, 2025), el presupuesto público destinado a su gestión ha sido variable, ya que fluctúa considerablemente de acuerdo con las prioridades sectoriales de cada periodo gubernamental.

En otras palabras, a lo largo de los últimos 24 años, el presupuesto federal asignado a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) –institución descentralizada creada en el año 2000 para la gestión de las ANP mexicanas– ha enfrentado altibajos significativos. Estos no solo comprometen las acciones de conservación ambiental, sino que también influyen en el cumplimiento de los compromisos asumidos en las agendas internacionales.

Si bien existe la urgencia y el llamado a proteger el medio ambiente en un contexto de crisis climática, las fluctuaciones en el presupuesto ambiental reflejan una realidad que contradice el discurso de los tratados internacionales y de los Planes Nacionales de Desarrollo (PND), que destacan la importancia de un desarrollo sustentable y de la conservación ambiental.

Bajo este contexto, surgen las siguientes interrogantes: ¿Cuánto invierte el gobierno de México para proteger las ANP? ¿Cuántas ANP se han creado por sexenio? ¿Cuál ha sido la superficie decretada para su protección por sexenio? ¿Hay coherencia entre el discurso político oficial y el presupuesto asignado? Cabe resaltar que, aunque las ANP pueden recibir financiamiento externo a través de organizaciones no gubernamentales u otros programas públicos ajenos a la CONANP, el artículo pretende responder estas preguntas centrándose únicamente en la evolución de las asignaciones presupuestarias explícitamente destinadas a la gestión de las ANP de México desde el año 2000 hasta 2024.

## EL "PRESUPUESTO VERDE": AVANCES Y RECORTES

A lo largo de los sexenios, el presupuesto destinado a las ANP ha oscilado significativamente. Durante el sexenio de Peña Nieto, la CONANP recibió el mayor financiamiento de las últimas dos décadas, con alrededor de 8,042 millones de pesos mexicanos (MXN) en total (en términos reales). En contraste, en el sexenio de López Obrador el presupuesto se redujo a 6,471 millones en términos reales; es decir, se retrocedió al nivel de dos sexenios atrás, ya que su monto es similar al ejercido en el sexenio de Calderón, como se observa en la Tabla 1.

No obstante, la problemática no solo se refleja en el recorte presupuestal en términos absolutos, sino también en términos relativos; es decir, en los recursos destinados a operar cada hectárea de ANP, considerando que cada año se decretan más áreas (Tabla 2). Esto hace suponer que el compromiso de una gestión con recursos adecuados se cumple solo parcialmente.

| Sexenio | ANP decretadas | Superficie terrestre y marina protegida (ha) |
|---|---|---|
| **2000-2006** | 10 | 1,284,912.22 |
| **2007-2012** | 17 | 2,418,260.99 |
| **2013-2018** | 7 | 65,767,353.67 |
| **2019-2024** | 48 | 7,185,129.87 |

**Tabla 2.** ANP decretadas por sexenio (2000 a 2024). El decreto de ANP se considera a partir del año 2000. Fuente: elaboración propia con datos solicitados a la Unidad de Transparencia, 2024 y CONANP, 2025.

#### DECRETOS PRESIDENCIALES DE ANP

Cada sexenio tiene diversos intereses sectoriales y una postura diferente respecto a la conservación del medio ambiente.

Además, en algunos casos, los gobiernos en turno asumen acuerdos globales, como el CDB. Cabe señalar que en los últimos sexenios se ha priorizado la creación de extensas ANP marinas para cumplir la meta 30 × 30 y maximizar la superficie protegida hacia 2030.

De los últimos cuatro sexenios, en el de López Obrador se decretaron 48 ANP, la cifra más alta registrada en un periodo presidencial de México. Incluso superó al sexenio de Lázaro Cárdenas (1934-1940), reconocido por defender los recursos naturales y bajo cuyo mandato se había decretado, hasta entonces, el mayor número de ANP (40). Cabe precisar que esta comparación es exclusivamente cuantitativa y no implica una equivalencia en cuanto al contexto político o presupuestal de ambos periodos (Melo Gallegos, 2002).

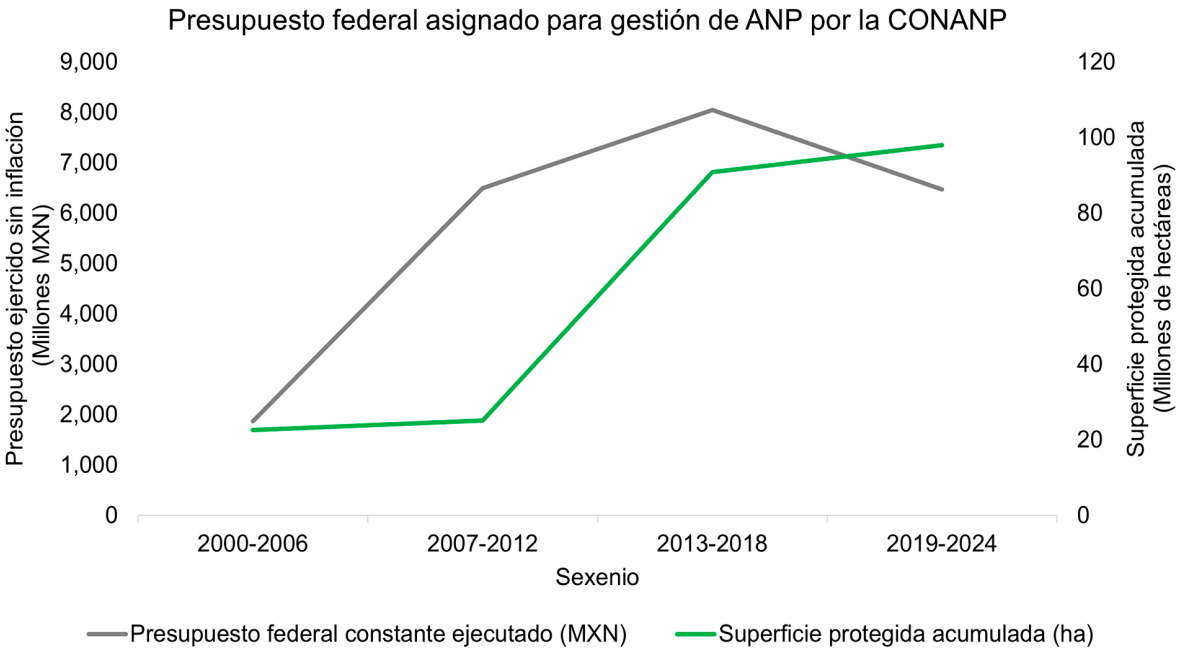



**Figura 1.** Presupuesto federal ejercido por la CONANP contra la superficie protegida acumulada. Elaboración propia con datos de la Unidad de Transparencia (2024) y CONANP (2025).

| Sexenio | Superficie acumulada (ha) | Pesos (deducidos de inflación)/ha |
|---|---|---|
| **2000-2006** | 22,629,974.04 | 82.52 |
| **2007-2012** | 25,048,235.03 | 259.31 |
| **2013-2018** | 90,815,588.70 | 88.55 |
| **2019-2024** | 98,000,718.58 | 66.03 |

**Tabla 3.** Precio de manejo por hectárea (por sexenio) Fuente: elaboración propia con datos solicitados en la Unidad de Transparencia, 2024 y CONANP, 2025.

Sin embargo, al considerar la superficie protegida el contraste adquiere otra dimensión, debido a que, en el sexenio de López Obrador, con esas 48 ANP, apenas se logró la protección de 7.18 millones de hectáreas. En cambio, en el sexenio de Peña Nieto se decretaron siete ANP, pero con ellas se protegió una superficie total de 65.77 millones de hectáreas (Tabla 2). Este contraste evidencia que el número de decretos no necesariamente se traduce en una mayor extensión territorial protegida. Esto lleva a reflexionar que decretar ANP es importante, pero hacerlo sin asignar recursos financieros suficientes resulta contradictorio, pues se convierte en un territorio con reconocimiento legal, pero sin capacidad real de manejo.

## DEL DISCURSO AMBIENTAL A LA PRÁCTICA PRESUPUESTAL

Durante los últimos años, los gobiernos federales han adoptado un discurso ambiental que enfatiza la preocupación por la degradación del medio ambiente y la necesidad de adherirse al paradigma del desarrollo sustentable. Esta orientación se expresa tanto en los Planes Nacionales de Desarrollo como en la firma y ratificación de diversos acuerdos internacionales en la materia, como la mencionada meta 30 × 30 del Marco Mundial de la Diversidad Biológica de Kunming-Montreal. Sin embargo, el análisis del presupuesto asignado a las ANP en relación con la superficie protegida evidencia la falta de coherencia entre los compromisos institucionales y la implementación presupuestal (Tabla 3). Cabe señalar que, si bien la gestión de ANP terrestres y marinas implica diferencias sustantivas en términos operativos, logísticos y de costos de conservación, no se cuenta con la información financiera desagregada por tipo de área; por lo tanto, los valores presentados se utilizan como un indicador comparativo de carácter general.

Como se mencionó, el sexenio con más ANP fue el de López Obrador; sin embargo, fue en ese mismo periodo cuando se realizó el recorte presupuestal más significativo para la CONANP. Es decir, el número de ANP aumentó notablemente, pero el presupuesto para su gestión se redujo. Si bien se persigue alcanzar las metas de cobertura de los acuerdos internacionales respecto a la superficie protegida, en la práctica el gobierno federal ha reducido el presupuesto destinado a las ANP. Esta disminución compromete el sustento financiero necesario para su funcionamiento y gestión eficaz a largo plazo.

Por otro lado, se observa que en el sexenio de Peña Nieto se otorgó más presupuesto que en otras administraciones y, paralelamente, se incrementó la superficie protegida. Si bien la relación presupuesto-superficie decretada es un indicador del compromiso con la conservación, el dato más significativo es el recurso disponible para la gestión de "cada hectárea" de las ANP, ya que considera la superficie total decretada acumulada hasta el momento. En orden progresivo, para el presidente López Obrador la conservación de la naturaleza costó 66.03 MXN/ha



© **Rafael Pareja.** *Vietnam rural*. Vietnam, 2026.

en promedio; para el presidente Fox, 82.52 MXN/ha; para el presidente Peña Nieto, 88.55 MXN/ha; y para el presidente Calderón, 259.31 MXN/ha (precios deducida la inflación).

Este breve análisis pone de manifiesto una brecha entre los compromisos ambientales expresados en el ámbito político y su traducción en decisiones presupuestarias. Asimismo, expone que los recursos financieros destinados a la gestión y conservación de las ANP federales posiblemente no han sido suficientes, puesto que han sido reducidos en relación con la magnitud de la superficie protegida, lo que indica con esta evolución que la conservación de las ANP no ha ocupado una posición prioritaria dentro del gasto público ambiental. Por lo tanto, se espera que el gobierno actual preste más atención –y asigne más recursos– a las ANP que existen a lo largo y ancho del país.

## REFERENCIAS


Bovarnick A, Fernandez-Baca J, Galindo y Negret H. (2010). *Financial Sustainability of Protected Areas in Latin America and the Caribbean: Investment Policy Guidance*. United Nations Development Programme and The Nature Conservancy.

CONANP (2025). Numeralia ANP. Recuperado de: https://simec.conanp.gob.mx/numeralia.php.

Dudley N (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. Recuperado de: https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/paps-016-es.pdf.

Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (2024). Informe de la Plataforma Nacional de Transparencia. Folio de solicitud: 330008324000443.

Melo Gallegos C (2002). Áreas Naturales Protegidas de México en el siglo XX. México: Instituto de Geografía, UNAM.

Organización de las Naciones Unidas (1992). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Recuperado de: https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf.

Organización de las Naciones Unidas (2022). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Recuperado de: https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-es.pdf.



***Julisa Guadalupe Cabrera Borraz***
***Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo***
***julicabo_18@hotmail.com***

***Ludger Brenner***
***Universidad Autónoma Metropolitana***




**© Rafael Pareja.** *Caos autoorganizado*. Vietnam, 2026.

www.elementos.buap.mx

# La cáscara olvidada:
## cuando el residuo se vuelve recurso

Susana Marlene **Barrales Heredia**
Hernán **Celaya Michel**

Cada día, millones de manos pelan cebollas en cocinas de todo el mundo. Mientras algunas lágrimas brotan por los compuestos volátiles que se liberan al cortar sus capas internas, la cáscara seca termina, sin mayor ceremonia, en el bote de basura o en la composta. A simple vista, parece no tener utilidad.

Pero ese descarte no es solo doméstico. En mercados y centros de distribución, las capas externas de la cebolla también se eliminan para mejorar su apariencia comercial (Barrales-Heredia *et al*., 2022). Esta práctica cotidiana se ha mantenido sin grandes cambios desde hace siglos. Hoy, sin embargo, la ciencia ha empezado a mirar de otro modo esa envoltura delgada, quebradiza y aparentemente inservible.

Porque ahí, justo en lo que descartamos, se esconde una riqueza inesperada. La cáscara de cebolla ha demostrado tener propiedades antioxidantes, antimicrobianas y bioestimulantes. Ha inspirado empaques biodegradables, extractos cosméticos e incluso soluciones agrícolas. De residuo vegetal a recurso industrial, su transformación es ejemplo de cómo la innovación puede cambiar nuestra relación con lo cotidiano –y de cómo una mirada crítica a lo que desechamos puede revelar nuevos caminos para la sostenibilidad.

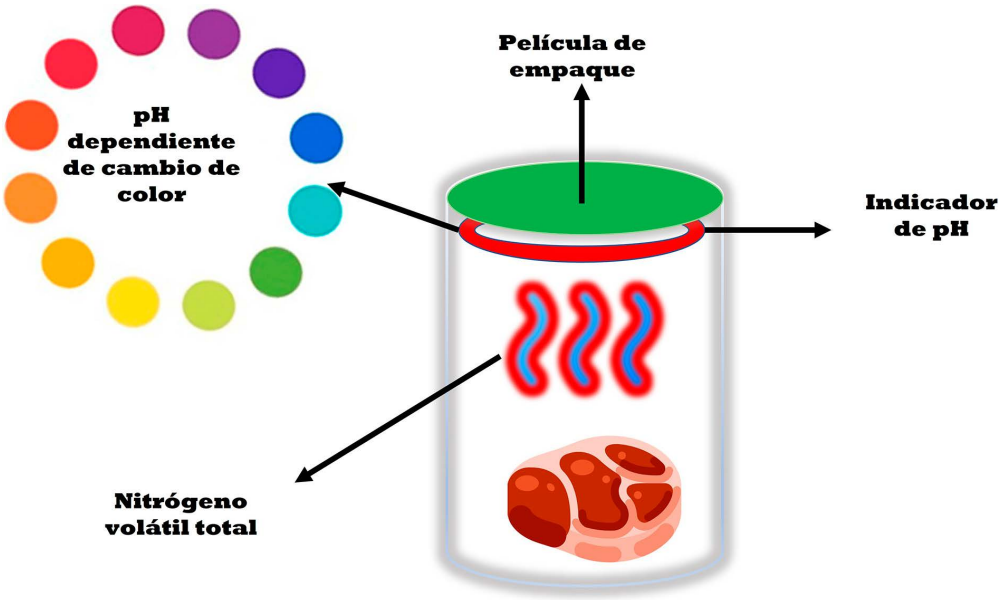



**Figura 1.** Envase inteligente que cambia de color según el estado de frescura del alimento.

En un mundo saturado de residuos no biodegradables, la urgencia por encontrar materiales alternativos se ha convertido en un reto civilizatorio. En este contexto, los biopolímeros –macromoléculas biodegradables derivadas de fuentes naturales– se perfilan como una alternativa al plástico convencional. Y los residuos agrícolas, abundantes y subutilizados, podrían ser la clave.

Particularmente, la cáscara de cebolla (*Allium cepa* L.) que se genera en millones de toneladas al año, contiene compuestos fenólicos como la quercetina, conocidos por su potencial antioxidante, antimicrobiano y bioestimulante (Shabir *et al*., 2022). Este perfil químico ha captado el interés de distintas disciplinas, desde la agricultura hasta la cosmética. ¿Pero, qué nos dice esto sobre la forma en que valoramos –o ignoramos– los residuos?

## BIOPOLÍMEROS SOSTENIBLES: ¿UNA SEGUNDA VIDA PARA LO VEGETAL?

La cáscara de cebolla, tradicionalmente subestimada, ha comenzado a integrarse en una de las discusiones más urgentes de nuestra época: la necesidad de reemplazar los plásticos de un solo uso por alternativas realmente biodegradables. Pero no se trata solo de encontrar materiales que desaparezcan con el tiempo, sino de hacerlo con inteligencia, usando lo que ya tenemos en abundancia: nuestros residuos.

En este contexto, investigadores han explorado la incorporación de la cáscara en biocompuestos elaborados con matrices como almidones, alginatos o poliésteres biodegradables. Más allá de la mejora en propiedades físicas –resistencia mecánica, barrera a la humedad, capacidad antimicrobiana–, lo valioso está en el concepto mismo: transformar un desecho agrícola en un insumo para empaques activos que extienden la vida útil de los alimentos, sin necesidad de conservadores sintéticos (Wang *et al*., 2022).

Este principio de economía circular encuentra eco en iniciativas como la de la empresa escocesa HUID, que ha comenzado a desarrollar envases ecológicos a partir de cáscaras de cebolla descartadas por agricultores y centros de distribución. A través de procesos de extracción de celulosa combinados con biopolímeros naturales, obtienen materiales con propiedades similares al cartón o al film plástico. Además, los compuestos bioactivos de la cebolla –antimicrobianos por naturaleza– ayudan a conservar mejor los alimentos, reduciendo también el desperdicio alimentario (BBC, 2024).

Estos sistemas mejoran la trazabilidad y la seguridad alimentaria, y permiten detectar visualmente el deterioro en productos perecederos (Figura 1), con base en principios desarrollados por Boccalon *et al*. (2022).

#### MECANISMOS BIOACTIVOS DE LA CÁSCARA DE CEBOLLA

La cáscara de cebolla (*Allium cepa* L.) contiene compuestos fenólicos y flavonoides, entre ellos quercetina y sus derivados. Los extractos han mostrado actividad antioxidante significativa en ensayos DPPH y ABTS, así como actividad antimicrobiana frente a diversos microorganismos en estudios de laboratorio (Joković *et al*., 2024; Kumar *et al*., 2022).

#### PRECAUCIONES Y LIMITACIONES

Aunque los residuos de cebolla tienen potencial como fuente de compuestos bioactivos, la mayoría de las evidencias provienen de estudios *in vitro* o con modelos animales. Además, la eficacia de los extractos puede variar según la variedad de cebolla y el método de extracción empleado (Joković *et al*., 2024; Celano *et al*., 2021). Los ensayos clínicos en humanos siguen siendo escasos, por lo que cualquier uso en alimentos o suplementos debe considerarse preliminar (de Oliveira *et al*., 2025).

#### BIOPOLÍMEROS Y MICROENCAPSULACIÓN

Los polisacáridos naturales pueden formar matrices que encapsulan compuestos bioactivos, mejorando su estabilidad y biodisponibilidad. Este enfoque ha sido propuesto como una forma de aprovechar los residuos vegetales para formular ingredientes funcionales más estables (de Oliveira *et al.*, 2025).

#### RETOS Y OPORTUNIDADES

A pesar del creciente interés en la valorización de la cáscara de cebolla, persisten desafíos que demandan reflexión. Uno de los retos es que no todas las cáscaras son iguales: su composición varía según el tipo de cebolla, su origen y cómo fue almacenada.

Además, la falta de marcos regulatorios claros dificulta la adopción masiva de estas innovaciones, evidenciando la necesidad de un diálogo estrecho entre científicos, legisladores y actores industriales para fomentar una transición efectiva hacia materiales sostenibles.

No obstante, tecnologías verdes emergentes, como la extracción asistida por ultrasonido o el uso de disolventes ecológicos, abren horizontes prometedores para optimizar la recuperación de compuestos bioactivos con menor impacto ambiental (Selvam *et al*., 2025).

Este escenario invita a un pensamiento crítico y multidisciplinario, reconociendo no solo las oportunidades tecnológicas, sino también los marcos sociales y políticos necesarios para que la valorización de residuos agrícolas deje de ser un ideal y se convierta en práctica común y sostenible.

#### CONCLUSIÓN

La cáscara de cebolla trasciende su condición tradicional de residuo vegetal para revelarse como una fuente valiosa y poco explorada de compuestos bioactivos. Sus aplicaciones en alimentación, agricultura, cosmética y empaques sostenibles evidencian un potencial transformador que va más allá del aprovechamiento industrial.

Esta valorización implica un replanteamiento profundo de nuestros modelos productivos y de consumo. Integrar este recurso en una economía circular promueve un consumo responsable que redefine el concepto de desecho, convirtiéndolo en una oportunidad para la innovación ambiental y social.

Para alcanzar este ideal, se requiere un enfoque crítico que considere tanto posibilidades como limitaciones, impulsando la colaboración entre ciencia, industria y sociedad para consolidar un futuro más sostenible.

¿Qué otros "residuos" estamos ignorando que podrían convertirse en recursos clave? ¿Hasta qué punto nuestra economía depende de redefinir lo que consideramos desecho?



**© Rafael Pareja.** *Caos autoorganizado*. Vietnam, 2026.

## REFERENCIAS


Barrales-Heredia SM, Grimaldo-Juárez O, Suárez-Hernández AM *et al.* (2022). Scales removal to improve the appearance and quality of onion. *Biotecnia* 24:135-141.

BBC Scotland News (2024). Business creating onion skin packaging to reduce waste. Recuperado de: https://www.bbc.com/news/articles/c17l8zd4zqxo.

Boccalon E, Viscusi G, Lamberti E *et al.* (2022). Composite films containing red onion skin extract as intelligent pH indicators for food packaging. *Applied Surface Science* 593:153319.

Celano R, Docimo T, Piccinelli AL *et al.* (2021). Onion peel: Turning a food waste into a resource. *Antioxidants* 10:304.

de Oliveira LS, da Silva DVT, da Trindade LR *et al.* (2025). Edible polysaccharides as stabilizers and carriers for the delivery of phenolic compounds and pigments in food formulations. arXiv preprint. Recuperado de: https://arxiv.org/abs/2511.07264.

Joković N, Matejić J, Zvezdanović J *et al.* (2024). Onion peel as a potential source of antioxidants and antimicrobial agents. *Agronomy* 14:453.

Kumar M, Barbhai MD, Hasan M *et al.* (2022). Onion (Allium cepa L.) peels: A review on bioactive compounds and biomedical activities. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 146:112498.

Selvam T, Rahman NMMA, Olivito F *et al.* (2025). Agricultural waste-derived biopolymers for sustainable food packaging: Challenges and future prospects. *Polymers* 17:1897.

Shabir I, Pandey VK, Dar AH *et al.* (2022). Nutritional profile, phytochemical compounds, biological activities, and utilisation of onion peel for food applications: A review. *Sustainability* 14:11958.

Wang C, Lu Y, Li Z *et al.* (2022). Preparation and performance characterization of a composite film based on corn starch, κ-carrageenan, and ethanol extract of onion skin. *Polymers* 14:2986.



***Susana Marlene Barrales Heredia***
***Hernán Celaya Michel***
***Departamento de Agricultura y Ganadería***
***Universidad de Sonora***
***susana.barrales@unison.mx***




**© Rafael Pareja.** *Caos autoorganizado*. Vietnam, 2026.

# Larvas que transforman residuos en alimento para las plantas

Laura Yesenia **López López**
Hugo **González Lara**

Cada año, miles de toneladas de alimentos terminan en vertederos o rellenos sanitarios. El Informe del Índice de Desperdicio de Alimentos 2024 de América Latina, dado a conocer por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), revela un escenario alarmante: 62 % de las frutas y verduras cultivadas se desperdician al año en esta región. De manera similar, un total de 1,050 millones de toneladas de alimentos (carnes, lácteos, frutas, verduras) son desperdiciados; es decir, 132 kg de desechos anuales por persona únicamente en América Latina (PNUMA, 2024). Este problema no solo significa pérdida de alimento, sino que también representa un problema ambiental. Los residuos alimentarios no aprovechados representan entre el 8 y el 10 % de las emisiones de gases de efecto invernadero a escala mundial (PNUMA, 2024), ya que la mayoría no son manejados de manera correcta. Por lo anterior, el mal manejo de los desperdicios de alimentos es un contribuyente silencioso al cambio climático.

## ¿QUÉ SE PUEDE HACER CON LOS RESIDUOS ORGÁNICOS?

Los restos de alimentos como frutas, verduras y otros desechos orgánicos pueden ser recuperados y transformados en materiales orgánicos valiosos. Por ejemplo, los residuos orgánicos pueden usarse en la generación de energía,

producción de biocombustibles e inclusive en la agricultura. De hecho, podemos tomar el ejemplo de cómo la naturaleza descompone y recicla los residuos en un ciclo cerrado para poder reintegrarlos a su ecosistema. Este proceso es muy utilizado en la agricultura.

De modo que, si queremos emular a la naturaleza, debemos proponer procesos de conversión. Es decir, los residuos orgánicos pueden ser convertidos en productos valiosos mediante procesos químicos, bioquímicos o biológicos; en la agricultura, los procesos bioquímicos y biológicos han hecho posible obtener enmiendas orgánicas. Las enmiendas orgánicas se obtienen de residuos orgánicos siguiendo un proceso de transformación y son ricas en nutrientes para las plantas.

Estas enmiendas orgánicas son ricas en nutrientes para las plantas, por lo que pueden actuar como fertilizantes; estos nutrientes incluyen nitrógeno, fósforo y potasio –en conjunto se conocen como NPK, nutrientes de gran importancia para el desarrollo de las plantas–, en una forma de rápida disponibilidad para los cultivos, a la vez que los liberan de manera más natural. Asimismo, una enmienda orgánica puede mejorar la estructura del suelo, haciéndolo más poroso y ayudando a que las raíces respiren; igualmente, actúa como una esponja, ya que mejora la capacidad de retención de agua del suelo y estimula las comunidades de microorganismos benéficos, por lo que puede utilizarse como sustrato, es decir, como el medio físico que le dará nutrientes y soporte a la planta para su desarrollo.

## ¿LARVAS DE INSECTOS EN LA TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS?

En los últimos años ha surgido la necesidad de explorar otro tipo de alternativas que permitan acelerar el aprovechamiento de los residuos orgánicos en la agricultura. Dentro de estas estrategias complementarias destaca el uso de larvas de insectos como la mosca soldado negra (MSN), unas devoradoras natas que se alimentan de casi cualquier cosa. Al comerse los residuos, generan dos productos: el primer producto son ellas mismas, es decir, su biomasa larval, y el segundo es un subproducto sólido conocido como frass. Este material está compuesto por el excremento de las propias larvas, que contiene nutrientes ya predigeridos, restos de alimento no consumido y fragmentos de sus propios exoesqueletos, es decir, la "piel" que van mudando. El frass ha demostrado un gran potencial en la agricultura gracias a su contenido de nutrientes y compuestos orgánicos que favorecen el crecimiento de las plantas y estimulan sus defensas naturales (Jasso *et al*., 2023; do Casal de Paula *et al*., 2025).

Con esta información, desde una perspectiva de divulgación científica, este artículo explora el potencial del frass generado por larvas de MSN como alternativa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos en la agricultura. Asimismo, se discute la importancia de los procesos de estabilización para asegurar su uso seguro y responsable, y el uso emergente de la digestión anaeróbica para el tratamiento del frass como sustituto parcial de sustratos agrícolas.

## EL FRASS UTILIZADO COMO FUENTE DE NUTRIENTES PARA LAS PLANTAS

Como se ha mencionado, el frass aporta nutrientes esenciales a la planta y puede aportar estructura al suelo, razones por las que se posiciona como un candidato para su uso como enmienda orgánica y sustituto parcial de sustratos agrícolas (Jasso *et al*., 2023). No obstante, la aplicación directa del frass puede presentar ciertas limitaciones, ya que si se usa en estado fresco (tras el proceso de transformación de residuos a frass realizado por las larvas) se considera que es un frass inestable que puede causar problemas de toxicidad en la planta, provocando quemaduras, detención del crecimiento o hasta su muerte; asimismo, puede causar desequilibrios nutricionales o riesgos sanitarios por la presencia de microorganismos que hayan estado presentes en los residuos orgánicos utilizados para alimentar a las larvas, enfermándolas y afectando al suelo (Kenchanna *et al*., 2024).

Sin embargo, para garantizar un uso seguro de este material, tanto para la planta y el suelo como para el consumidor, es necesario someterlo a procesos adicionales que permitan reducir su inestabilidad biológica y mejorar su seguridad para el uso agrícola. Los procesos –como el compostaje, vermicompostaje y digestión anaeróbica– que ayudan a transformar los residuos orgánicos para convertirlos en enmiendas orgánicas, también desempeñan un papel clave en la estabilización del frass. Por un lado, aceleran la descomposición de la materia orgánica y la convierten en materiales útiles para el crecimiento de las plantas; por otro lado, reducen la toxicidad potencial y la carga microbiana, favoreciendo el desarrollo de propiedades que mejoran la estabilidad del frass (Jasso *et al*., 2023; Kenchanna *et al*., 2024).

Es así que el frass de MSN posee un potencial agronómico relevante, pero su uso agrícola no debe ser automático. La aplicación de procesos de estabilización resulta clave para minimizar riesgos y asegurar que su aplicación contribuya de manera segura a sistemas agrícolas más sostenibles, incluyendo el aprovechamiento de alternativas emergentes como la digestión anaeróbica.




**© Rafael Pareja.** *Caos autoorganizado*. Vietnam, 2026.



**© Rafael Pareja.** *Caos autoorganizado*. Vietnam, 2026.

### ¿CÓMO FUNCIONA EL COMPOSTAJE EN LA ESTABILIZACIÓN DEL FRASS?

El compostaje es un proceso biológico en el que los residuos orgánicos se descomponen en presencia de oxígeno a través del trabajo conjunto de microorganismos. De este proceso se genera un producto rico en nutrientes que ayuda en la estructura del suelo; a este producto se le conoce como compost (Amaya-Gómez *et al*., 2024; Lim *et al*., 2016). Este proceso no solo reduce el volumen del residuo original, sino que también transforma compuestos que son degradados fácilmente en formas más simples y seguras para su uso agrícola.

Para que el compostaje pueda realizarse correctamente, es necesario mantener ciertas condiciones básicas como una adecuada temperatura, pH, humedad y aireación (Lim *et al*., 2016). A medida que los microorganismos trabajan deshaciendo los residuos, la temperatura del material aumenta de forma natural. Este aumento de temperatura es una señal de que el proceso está avanzando y, al mismo tiempo, ayuda en la reducción de microorganismos que son potencialmente peligrosos tanto para las plantas como para el consumidor (Amaya-Gómez *et al*., 2024).

De igual forma, es importante saber que el compostaje tiene tres fases que explican cómo se logra la estabilización del material. En una primera fase, la mesófila, la materia orgánica, que está a temperatura ambiente, comienza a degradarse por acción de microorganismos presentes en los residuos, situación por la cual la temperatura comienza a subir hasta llegar a los 50 °C. A partir de este punto, el proceso entra en la fase termófila, donde otros microorganismos



© **Rafael Pareja.** *Caos autoorganizado*. Vietnam, 2026.



© **Rafael Pareja.** *Caos autoorganizado*. Vietnam, 2026.

que necesitan altas temperaturas entran en acción; en esta fase las temperaturas van desde los 50 °C hasta los 70 °C.

En la fase termófila, la mayor parte de los residuos orgánicos se deshacen en compuestos más simples, además de ayudar a la eliminación de los patógenos debido a las altas temperaturas que se mantienen durante varios días. Finalmente, cuando la temperatura comienza a disminuir y los compuestos ya están en sus formas más simples, inicia la fase de maduración, donde la materia orgánica ya degradada comienza a estabilizarse, a la vez que las temperaturas disminuyen y adquiere características más adecuadas para su uso en la agricultura (Lim *et al*., 2016).

El compostaje ha sido el método de estabilización más ampliamente estudiado y utilizado para el tratamiento y estabilización del frass de la MSN. Y es que, al ser un material rico en nutrientes y biológicamente activo, al incorporarlo en pilas de compostaje se tienen las bases para iniciar el proceso. El compostaje permite reducir la inestabilidad biológica del frass y disminuir posibles efectos de toxicidad en las plantas, ya que durante el proceso se degradan compuestos como el amoníaco y se favorece la estabilización de la materia orgánica (Kenchanna *et al*., 2024; Jasso *et al*., 2023). Asimismo, este proceso ayuda a reducir microorganismos dañinos gracias a la fase termófila.

Diversos estudios han explorado cómo integrar el frass en pilas de compostaje mediante su mezcla con otros residuos orgánicos. Por ejemplo, Kenchanna y colaboradores (2024) mezclaron proporciones entre 25 y 30 % de frass junto con otros residuos orgánicos como el estiércol de ganado para formar una pila de compostaje. Durante aproximadamente cinco meses, estas pilas fueron sometidas a volteos semanales para distribuir el oxígeno en la pila y a una humedad controlada entre 40 y 60 % para favorecer la actividad microbiana necesaria para la transformación de los residuos. Los autores reportaron que esas proporciones de frass dieron lugar a un compost seguro con características favorables en su calidad.

De manera similar, Jasso y colaboradores (2023) analizaron el efecto de incorporar frass sometido previamente a un tratamiento térmico a 70 °C, durante una hora, como una medida de seguridad contra patógenos. Este material se añadió a las pilas de compostaje en distintas proporciones (18.75 %, 22.87 %, 27.13 % y 31.25 %). Obtuvieron los mejores resultados con la proporción de 31.25 %, ya que obtuvieron aumentos en el contenido de fósforo –un macronutriente perteneciente al NPK de gran importancia en la nutrición de las plantas– en hasta 1.75 %. Sin embargo, concluyeron que sería necesario realizar más investigaciones para evaluar proporciones más altas de frass en las pilas de compostaje.

Con esta información, se puede concluir que el compostaje permite no solo transformar residuos orgánicos en enmiendas útiles y de calidad para usarlas

en la agricultura, sino que también permite estabilizar materiales emergentes como el frass de la MSN. Cuando se maneja adecuadamente, este proceso ayuda a reducir riesgos y a convertir al frass en un recurso seguro para la agricultura. No obstante, hay otros procesos que han surgido para tratar de estabilizar el frass; ejemplo de ellos es el vermicompostaje.

#### EL VERMICOMPOSTAJE VS EL FRASS DE LA MOSCA SOLDADO NEGRA

El vermicompostaje es un proceso biológico aeróbico en el que los residuos orgánicos se descomponen gracias al trabajo en equipo de microorganismos y lombrices de tierra como la lombriz roja californiana. A diferencia del compostaje, este proceso se desarrolla a temperaturas menores a 50 °C y es muy utilizado para la degradación de estiércol de ganado (Lim *et al*., 2016; Amaya-Gómez *et al*., 2024). Durante el proceso, las lombrices trituran los residuos orgánicos y, al comérselos, generan un entorno bioquímico favorable para su degradación y para la eliminación de patógenos por la competencia de alimentos (Lim *et al*., 2016).

Además, al moverse por la pila de manera constante, las lombrices favorecen la aireación del material y estimulan la actividad de los microorganismos, lo que genera una descomposición más homogénea y un producto final más estable y con una estructura más fina, fácil de integrar al suelo (Lim *et al*., 2016; Amaya-Gómez *et al*., 2024). El producto resultante, conocido como vermicompost o humus de lombriz, aporta nutrientes, mejora el rendimiento de las plantas y favorece la formación de sustancias húmicas que estimulan su crecimiento.

Asimismo, el vermicompost promueve un entorno favorable para el crecimiento de microorganismos benéficos y compuestos que mejoran la salud del suelo y la tolerancia de las plantas al estrés (Amaya-Gómez *et al*., 2024). Sin embargo, el éxito del vermicompostaje depende de varios factores como la humedad, el pH, la densidad del material y el tipo de lombriz utilizada para el proceso, ya que estos factores influyen tanto en la velocidad del proceso como en la calidad del producto final (Lim *et al*., 2016).

En este contexto, aunque el compostaje ha sido el método más documentado para la estabilización del frass de la MSN, su duración prolongada y la necesidad de un manejo cuidadoso (Kenchanna *et al*., 2025; Jasso *et al*., 2024) han motivado la exploración del vermicompostaje como una alternativa complementaria (do Casal de Paula *et al*., 2025). De manera reciente, se ha comenzado a evaluar la mezcla de frass con estiércol de ganado para su tratamiento mediante lombrices de tierra, aunque esta línea de investigación aún está en proceso de trabajo (do Casal de Paula *et al*., 2025).

Ejemplo de estas investigaciones es el trabajo de do Casal de Paula y colaboradores (2025), quienes evaluaron la incorporación gradual de frass en proporciones que variaron del 25 % al 100 % con estiércol vacuno y sometido al vermicompostaje durante 90 días. Los resultados mostraron que mezclas con una adición de frass entre el 25 y el 75 % generaron un material con propiedades benéficas en las plantas, además de un aporte adecuado de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, lo que sugiere que el vermicompostaje puede ser una vía prometedora para la estabilización del frass cuando se maneja de forma adecuada.

Más recientemente, la digestión anaeróbica ha comenzado a explorarse como una alternativa para el tratamiento del frass. Aunque este proceso se ha utilizado principalmente en el contexto de la producción de biogás (Dong *et al*., 2024), vale la pena conocerlo y explorarlo para la estabilización del frass de la MSN.

#### DIGESTIÓN ANAERÓBICA EN EL TRATAMIENTO DEL FRASS

En la digestión anaeróbica trabaja en conjunto una comunidad diversa de microorganismos para descomponer sustancias orgánicas complejas en ausencia de oxígeno (Martín-Sanz *et al*., 2025). A diferencia del compostaje y el vermicompostaje, la digestión anaeróbica trabaja en ausencia de oxígeno, en sistemas sellados conocidos como digestores, que solo permiten la salida de gases (Meegoda *et al*., 2018). La descomposición de los residuos orgánicos ocurre a

través de una serie de etapas que pueden estar ocurriendo simultáneamente en el interior del digestor.

Estas etapas incluyen la hidrólisis, la acidogénesis, la acetogénesis y la metanogénesis. Cada una de estas fases cumple una función específica en la conversión de los residuos orgánicos. De esta forma, gracias a la hidrólisis, los carbohidratos, proteínas y lípidos presentes en los residuos orgánicos, se descomponen en moléculas más simples como azúcares y aminoácidos; después entra en juego la acidogénesis, donde los productos de la fase anterior se convierten en ácidos grasos volátiles, compuestos que en la acetogénesis producen acetato e hidrógeno, hasta llegar a la metanogénesis, donde se convierten en metano y dióxido de carbono (Meegoda *et al*., 2018; Dong *et al*., 2024).

El producto estrella de este proceso es el biogás –conformado principalmente por una mezcla de metano y dióxido de carbono. Este biogás se puede quemar para generar electricidad y calor (Martín-Sanz *et al*., 2025). El material que queda al final del proceso se llama digestato, que es la parte sólida compuesta por los residuos degradados en la digestión anaeróbica. Este digestato es rico en materia orgánica y nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio –que se encuentran principalmente en la parte líquida de este (Asp y Bergstrand, 2024)–, haciéndolo muy valioso en la agricultura (Martín-Sanz *et al*., 2025; Asp y Bergstrand, 2024).

Así, la digestión anaeróbica se puede ver como un proceso de doble propósito en el tratamiento de los residuos orgánicos, ya que produce un gas que se puede usar como biocombustible y un digestato con aplicaciones potenciales en la agricultura. Estos digestatos pueden ser utilizados en sistemas sin suelo y en sustratos agrícolas, ayudando a acelerar la descomposición de la materia orgánica, liberar gradualmente los nutrientes y mejorar su madurez (Martín-Sanz *et al*., 2025; Asp y Bergstrand, 2024).

Entre los estudios que han evaluado el uso de digestatos como sustrato se puede mencionar el trabajo de Asp y Bergstrand (2024), quienes probaron un digestato de residuos vegetales como sustituto parcial de un sustrato (turba), sin añadir fertilización extra. Encontraron que una mezcla con 50 % de digestato ofrecía los mejores resultados en el cultivo de tomate. Apuntan a que esto sucedió gracias a la alta disponibilidad de macronutrientes esenciales para las plantas. Esto sugiere que el digestato puede sustituir parcialmente el uso de turba, especialmente en cultivos de ciclo corto. Sin embargo, en cultivos con ciclos largos necesitaría fertilizantes adicionales.

En el caso del frass y de las propias larvas de la mosca soldado negra, la digestión anaeróbica comienza a generar interés. Se ha reportado que las larvas de la MSN, debido a su capacidad de alimentarse de diversos residuos, pueden contribuir incluso en la eliminación de lodos residuales. Sin embargo, el uso específico del frass como materia prima en la digestión anaeróbica aún es restringido y se ha estudiado principalmente desde la perspectiva de la producción de biogás. Ejemplo de esto es el trabajo de Dong y colaboradores (2024), quienes evaluaron el frass de MSN como único sustrato en una digestión anaeróbica durante 30 días en condiciones mesófilas, además de utilizarlo en mezcla con paja de maíz. Sus resultados indicaron que el frass de MSN es una materia prima adecuada para este proceso, lo que demuestra que puede ser degradado eficazmente en un sistema anaeróbico. Si se considera que el digestato es el subproducto natural de la digestión anaeróbica y que este material suele conservar una fracción importante de nutrientes minerales, es razonable plantear que el digestato derivado del frass podría tener potencial para su uso agrícola.

En otras palabras, si el frass es apto para ser sometido a una digestión anaeróbica y el proceso genera un material estabilizado rico en nutrientes, entonces el digestato resultante podría emplearse como sustituto parcial de sustratos agrícolas, siempre que su manejo se haga de una manera adecuada. Así, la digestión anaeróbica no solo abre la posibilidad de valorizar el frass como una fuente de energía renovable mediante la producción de biogás, sino también de transformarlo en un material con potencial agronómico, integrando así el aprovechamiento energético y agrícola en un mismo sistema.




© **Rafael Pareja.** *Caos autoorganizado*. Vietnam, 2026.

Además, si se considera que el biogás producido en estos procesos puede utilizarse como fuente de energía en invernaderos (Asp y Bergstrand, 2024), el uso del frass como materia prima en la digestión anaeróbica permitiría cerrar el ciclo: los residuos orgánicos alimentan a las larvas, el frass genera un biogás que aporta energía a los invernaderos y, además, produce un digestato que puede utilizarse como sustituto parcial de sustratos y fuente de nutrientes para las plantas.

## REFERENCIAS

Amaya-Gómez C, Flórez-Martínez DH, Cayuela M and Tortosa G (2024). Compost and Vermicompost improve biological nitrogen fixation, physiology and yield of the rhizobium-legume symbiosis: a systematic review. *Applied Soil Ecology* 210:106051. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2025.106051.

Asp H and Bergstrand KJ (2024). Nutrient utilization and growth of tomato crops fertilized with anaerobic digestate. *Scientia Horticulturae* 329:112986. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112986.

Do Casal de Paula F, Silva de Mendonça Costa MS, de Lima JC and dos Santos LT (2025). Stabilization of black soldier fly larval frass through vermicomposting with cattle manure: agricultural and chemical assessment. *Cleaner Waste Systems* 12:100415. DOI: https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100415.

Dong X, Dong A, Liu J *et al.* (2024). Impact of iron oxide on anaerobic digestion of frass in biogas and methanogenic archaeal communities' analysis. *Biology* 13:536. DOI: https://doi.org/10.3390/biology13070536.

Jasso B, Quinchia L, Waliczek TM and Drewery ML (2023). Black soldier fly larvae (Hermetia illucens) frass and sheddings as a compost ingredient. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 7:1297858. DOI: https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1297858.

Kenchanna D, Waliczek TM and Drewery ML (2024). Evaluating black soldier fly (Hermetia illucens) frass and larval sheddings in the production of a quality compost. *Fermentation* 10:613. DOI: https://doi.org/10.3390/fermentation10120613.

Lim SL, Lee LH and Wu TY (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production* 112:262-278. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.083.

Martín-Sanz GC, Revuelta-Aramburu M, Santos-Montes AM and Morales-Polo C (2025). A Review on Anaerobic Digestate as a Biofertilizer: Characteristics, Production, and Environmental Impacts from a Life Cycle Assessment Perspective. *Applied Sciences* 15:58635. DOI: https://doi.org/10.3390/app15158635.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2024). Informe sobre el desperdicio de alimentos 2024. Nairobi. Recuperado de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/45230/food_waste_index_report_2024_SP.pdf.

***Laura Yesenia López López***
***Hugo González Lara***
***Facultad de Ingeniería***
***Universidad Autónoma de Querétaro***
***Campus Amazcala***
***agonzalezarias@gmail.com***




**© Rafael Pareja.** *Caos autoorganizado*. Vietnam, 2026.

www.elementos.buap.mx

# Aridisoles: una ruta salvaje bajo el desierto

Paula Alejandra **Gómez Palomo**
David Francisco **Lafuente Rincón**

El suelo no solo es la tierra que pisamos, es el principal sostén de los vastos ecosistemas terrestres y es fundamental para la vida en el planeta. Se define como un complicado entramado entre la geología, la biología y la química; fundamental para la agricultura, protector de las reservas de agua y regulador del clima global (FAO, 1990; Schad, 2023). A su vez, es el hogar de una invisible pero impresionante biodiversidad de microorganismos (Ma *et al*., 2024; Mohamed *et al*., 2024; Gashi *et al*., 2025), elementos clave para mantener el resto de las formas de vida que conocemos. Este recurso imprescindible tiene en la presión de las actividades humanas una de las principales amenazas.

Al recorrer los grandes paisajes de desiertos y zonas áridas alrededor del planeta Tierra, encontramos un peculiar tipo de suelo: los aridisoles, un frágil y poco comprendido recurso natural, a menudo considerado como estéril por su escasa materia orgánica y su constante aridez, la cual, si bien hace justicia a su nombre, no representa su verdadero valor ecológico (Lynch *et al*., 2022). Si observamos con paciencia, los aridisoles nos enseñarán sobre su resiliencia e importancia ecológica y alimentaria en zonas áridas y semiáridas (Dzvene *et al*., 2025).

El conocimiento de este recurso ecosistémico es relevante debido a que alrededor de dos quintas partes de la superficie terrestre están ocupadas por suelos áridos, donde coexisten las bajas precipitaciones, la alta radiación solar

y las altas temperaturas (Padmanabhan y Reich, 2023). Según la Taxonomía de Suelos, los aridisoles son reservorios naturales de sales como el carbonato de calcio, el sulfato de calcio (yeso) o el cloruro de sodio, las cuales se asocian a su frecuente alcalinidad y su limitada retención de agua (Schad, 2023).

#### EL SUELO ÁRIDO: MUY LEJOS DE SER ESTÉRIL

La aridez no daña, condiciona; en este sentido, los aridisoles realizan múltiples funciones ecológicas; actúan como intermediarios entre la atmósfera y la hidrósfera, permitiendo el almacenamiento de la escasa agua de lluvia y economizando así la recarga de los mantos freáticos en estas regiones. Los ciclos de nutrientes (nitrógeno, carbono, fósforo, entre otros) que garantizan las cadenas alimenticias en los desiertos suelen tener un ritmo más lento comparado con otros ecosistemas, operando bajo un reloj geológico limitado por la humedad y las fluctuaciones abruptas en el clima; sin embargo, una lluvia breve puede detonar el despertar de asombrosos microorganismos: bacterias adaptadas a sequías (como *Lactococcus* y *Sulfuricaulis*; Gashi *et al*., 2025) y hongos tolerantes a las condiciones salinas (como *Aspergillus* sp., *Chaetomium globosum*), la fracción viva de los suelos que transforma nutrientes en materia orgánica disponible para las plantas (Ma *et al*., 2024; Gashi *et al*., 2025). Esta delgada pero esencial capa microbiana actúa como el motor bioquímico de la resiliencia del desierto, permitiendo que la vida persista incluso en condiciones extremas.

Los suelos áridos son también considerados los almacenes de carbono de los desiertos, gracias a una apuesta ecológica en la que las plantas entregan carbono a través de su sistema de raíces hacia el suelo y, desde ese punto, es captado por diversos microorganismos que actúan como moderadores de su retención ambiental, optimizando su aprovechamiento y reduciendo su emisión a la atmósfera (Ma *et al*., 2024; Mohamed *et al*., 2024; Zhu *et al*., 2025).

#### EL SUELO QUE ALIMENTA A MILLONES DE PERSONAS

El desarrollo de la agricultura puede parecer marginal si no vives en una región árida del planeta; sin embargo, para las poblaciones en estas zonas representa una actividad esencial para su seguridad alimentaria (Dzvene *et al*., 2025; Gashi *et al*., 2025). Si bien la disponibilidad de los recursos hídricos y la intermitencia de las lluvias dirigen el ritmo de la agricultura, su ejecución depende directamente de un suelo sano y funcional (Mohamed *et al*., 2024). Actualmente, los sistemas avanzados de riego y manejo del suelo hacen posible la producción agrícola y ganadera intensiva (Ponnampalam *et al*., 2025).

Además, el suelo en zonas áridas tiene un valor social y cultural; de él dependen comunidades rurales que han desarrollado estrategias tradicionales de manejo y conservación de pastos naturales del desierto, y la rotación de cultivos como el maíz y trigo adaptados a la sequía (Dzvene *et al*., 2025).

#### EL INCIERTO RIESGO AL EQUILIBRIO DEL DESIERTO

Como todo ambiente salvaje, los aridisoles pueden enfrentar una pérdida de sus funciones ecológicas, sufriendo una degradación también conocida como erosión (Lynch *et al*., 2022), la cual puede incluir alteraciones en el pH, cambios en el contenido total de sales, pérdida de la capa orgánica denominada "humus" y de cationes intercambiables ($Na^{+}$, $K^{+}$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$), fundamentales para la nutrición vegetal y la fertilidad del suelo (Gashi *et al*., 2025). La pérdida de cobertura vegetal también vulnera el suelo ante los efectos de la erosión por el viento y las corrientes de agua, así como el uso de maquinaria agrícola que lo compacta y causa la limitación en la infiltración de agua y el desarrollo de raíces (Lynch *et al*., 2022). Los efectos de la erosión también se acentúan por la disposición de los escasos recursos hídricos para la agricultura en detrimento de los ecosistemas locales (Zhu *et al*., 2025). Además, el uso excesivo e indiscriminado de fertilizantes, pesticidas y otros agroinsumos compromete la integridad química del suelo, afectando el pH y la estructura microbiana benéfica (Mohamed *et al*., 2024).

Entender la relación entre el clima y el suelo es entender la erosión como un proceso silencioso pero devastador: las alteraciones en sus propiedades físicas, químicas y biológicas pueden modificar su dinámica ecológica y comprometer su valor agrícola (Lynch *et al*., 2022; Zhu *et al*., 2025).

## UNA RUTA SALVAJE HACIA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

El camino a la restauración del suelo sí es posible. A través de estrategias ecológicas y agrícolas, es factible recuperar su estructura, fertilidad y funcionalidad, mitigando los efectos de la degradación causada principalmente por la intervención humana (Mohamed *et al*., 2024; Gashi *et al*., 2025; Zhu *et al*., 2025). Uno de los problemas que se han abordado desde el punto de vista biotecnológico es la salinización; como lo mencionan Gashi y colaboradores (2025), suelos aridisoles de tipo Solonetz (una subclasificación de los aridisoles con alto nivel de sodio) han incrementado su fertilidad mediante el uso de enmiendas de yeso, con una influencia en la reducción de la resistencia a la penetración (indicador positivo para el desarrollo de plantas; $\sim$333 N/m$^2$) y la diversidad de comunidades de hongos (índice de diversidad de Shannon; $p=0.04$). En zonas áridas de China y Estados Unidos se están desarrollando estrategias efectivas de adaptación, incluidos riego estratégico, diversificación de cultivos en conjunto con el uso de variedades de maíz, trigo, arroz, leguminosas y tubérculos tolerantes a las condiciones áridas, así como la restauración de pastos nativos (Dzvene *et al*., 2025). Especialmente, el uso de enmiendas minerales y orgánicas en países con grandes extensiones de regiones áridas como Egipto, ha conseguido incrementar la capacidad de intercambio catiónico y reducir la densidad del suelo y, en consecuencia, aumentado la productividad de cultivos esenciales como el maíz o el trigo (Mohamed *et al*., 2024).

El uso de microorganismos benéficos y residuos agrícolas es otra alternativa prometedora, como lo menciona Ma y colaboradores (2024), donde se pueden producir enzimas capaces de degradar lignina y celulosa, liberando nutrientes que mejoran el crecimiento de las raíces incluso bajo estrés salino.

Nuevos enfoques de producción agrícola proponen sistemas integrados de optimización de recursos (sistema agua-agricultura-ecología), como el caso de éxito en la cuenca del río Shiyang, un sistema agrícola árido del noroeste de China, que permite planificar el uso del agua y el suelo de manera coordinada, demostrando que, con la regulación conjunta de la extracción de agua subterránea y la planificación del cultivo, se puede aumentar la productividad agrícola y reducir el déficit hídrico sin poner en riesgo la sostenibilidad ecológica (Zhu *et al*., 2025). Las interacciones entre el agua, la agricultura y la ecología son altamente sensibles y determinan la sostenibilidad del sistema productivo (Lynch *et al*., 2022; Dzvene *et al*., 2025; Zhu *et al*., 2025).

## CONCLUSIÓN

Los aridisoles, presentes en los grandes ecosistemas desérticos alrededor del planeta, actúan sobre un escenario árido por naturaleza; son biodiversos y sostienen una delicada y a la vez resiliente red ecológica, fundamental para la seguridad alimentaria de sus habitantes. A su vez, fenómenos como la degradación plantean una ruta salvaje que avanza y compromete sus funciones ecológicas. Específicamente, las prácticas agrícolas intensivas actuales, incompatibles con el ritmo y con la intermitencia de los recursos disponibles en estos ambientes,

**© Rafael Pareja.** *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026.






© **Rafael Pareja.** *Tradiciones e identidad*. Vietnam, 2026.

sugieren la necesidad de un cambio de enfoque agrícola, donde el desarrollo de nuevas estrategias biotecnológicas, en conjunto con prácticas productivas conscientes y responsables con las limitaciones de los suelos en zonas áridas y semiáridas, permitirá preservarlos y prevenir conflictos futuros.

## REFERENCIAS

Dzvene AR, Zhou L, Slayi M and Dirwai TL (2025). A scoping review on challenges and measures for climate change in arid and semi-arid agri-food systems. *Discover Sustainability* 6:151. DOI: https://doi.org/10.1007/s43621-025-00945-z.

FAO (1990). Guidelines for soil profile description. Third edition (revised). Soil resources, management and conservation service, land and water development division. Rome: FAO.

Gashi N, Szőke Z, Czakó A *et al*. (2025). Gypsum and Tillage Practices for Combating Soil Salinity and Enhancing Crop Productivity. Agriculture 15(6):658. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture15060658.

Lynch JP, Mooney SJ, Strock CF and Schneider HM (2022). Future roots for future soils. *Plant, Cell & Environment* 45(3):620-636. DOI: https://doi.org/10.1111/pce.14213.

Ma YN, Mongkolthanaruk W and Riddech N (2024). Enhancing soil amendment for salt stress using pretreated rice straw and cellulolytic fungi. *Scientific Reports* 14:13903. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-64705-1.

Mohamed I, El-habbak AK, Abbas MH *et al*. (2024). Rice straw biochar and NPK minerals for sustainable crop production in arid soils: a case study on maize-wheat cropping system. *CABI Agriculture and Bioscience* 5:91. DOI: https://doi.org/10.1186/s43170-024-00289-0.

Padmanabhan E and Reich PF (2023) World soil map based on soil taxonomy. En Encyclopedia of Soils in the Environment, Elsevier, pp. 218-231. 10.1016/B978-0-12-822974-3.00118-X.

Ponnampalam NE, Jairath G, Alves SA *et al*. (2025). Sustainable livestock production by utilising forages, supplements, and agricultural by-products: Enhancing productivity, muscle gain, and meat quality – A review. *Meat Science* 229:109921. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2025.109921.

Schad P (2023). World reference base for soil resources-its fourth edition and its history. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 186(2):151-163. DOI: https://doi.org/10.1002/jpln.202200417.

Zhu X, Su X, Singh VP *et al*. (2025). Improving synergy of the water-agriculture-ecology system in arid areas using a novel co-optimization model. *Agricultural Water Management* 312:109408. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109408.

***Paula Alejandra Gómez Palomo***
***David Francisco Lafuente Rincón***
***Facultad de Ciencias Biológicas***
***Universidad Autónoma de Coahuila***
***david_lafuente@uadec.edu.mx***

# Paisajes diversos:
## aliados de polinizadores y de enemigos naturales de plagas

Susana **Maza-Villalobos**
Sergio **Zapata-Martínez**

Imagina un campo agrícola lleno de vida: abejas zumbando de flor en flor, aves y avispas que se alimentan de insectos dañinos y árboles que brindan alimento, sombra y refugio a otras plantas y animales. Este escenario no solo es hermoso, sino que también es esencial para la producción de alimentos. Sin embargo, en muchas regiones del mundo, la expansión de la agricultura intensiva ha transformado los paisajes, eliminando la vegetación natural y reduciendo la biodiversidad, dejando solamente extensas áreas de uno o muy pocos cultivos, con escasos árboles y vegetación natural (Maza-Villalobos *et al*., 2023; Figura 1). Esto tiene consecuencias graves para los ecosistemas y sus funciones benéficas, como la polinización o el control biológico de plagas, repercutiendo en la calidad y cantidad de alimentos que llegan a nuestra mesa.

### ALIADOS DE LOS ALIMENTOS: POLINIZADORES Y ENEMIGOS NATURALES DE PLAGAS

Los polinizadores como las abejas, mariposas, algunas aves, murciélagos, e incluso casos excepcionales como reptiles y anfibios, son fundamentales para la producción de alimentos. A escala mundial, se estima que el 80 % de




**Figura 1.** Ejemplo de paisajes agropecuarios dominados por monocultivo. Fotografía que muestra un área extensa de campos sembrados exclusivamente con mango Ataulfo en Tapachula, Chiapas. Fuente: Google Earth.

los cultivos de los que obtenemos alimentos, así como medicinas, fibras textiles y materiales de construcción, son polinizados por animales. Para México, el 88 % de las frutas, verduras y semillas que consumimos depende de los polinizadores. Es decir que, sin polinizadores, muchos de los alimentos que consumimos, como mango, fresa, calabaza, manzana, chile, almendra, papaya, frijol, papa, arándano, pepino, cebolla, café, entre muchos otros, serían escasos o definitivamente no podrían ser cultivados. Por otro lado, tenemos a un grupo de organismos como algunas aves, arañas, murciélagos, anfibios e insectos benéficos, que son enemigos naturales de plagas, manteniendo sus poblaciones a raya al ser sus depredadores, lo que evita daños a los cultivos y a la economía de los agricultores. El control biológico de plagas hace innecesario, o reduce drásticamente, el uso de pesticidas químicos, lo que ayuda a la economía de los agricultores y promueve un ambiente libre de contaminantes (Klinnert *et al*., 2024).

Desafortunadamente, tanto los polinizadores como los enemigos naturales de plagas están en peligro. La pérdida de sus hábitats naturales, el uso excesivo de pesticidas y la simplificación de los paisajes agrícolas han reducido sus poblaciones (Tscharntke *et al*., 2007). Aquí es donde entra en juego el papel del paisaje ecológico y la conservación de la biodiversidad.

#### PAISAJES DIVERSOS: UN REFUGIO PARA LA VIDA SILVESTRE

Aunque lo mejor para el mantenimiento de la biodiversidad es que la frontera agrícola ya no avance, los paisajes agrícolas que conservan remanentes de vegetación natural, árboles aislados, cercas vivas diversificadas con árboles nativos y una variedad de cultivos, pueden funcionar como refugios temporales para la biodiversidad. Estos elementos, además de proporcionar alimento y refugio para polinizadores y enemigos naturales, también mejoran la respuesta de los ecosistemas ante cambios climáticos y plagas, sirviendo como filtros ambientales. Por ejemplo, en un estudio realizado en Colombia se observó que la presencia de remanentes de vegetación en el paisaje mitiga el efecto de pesticidas sobre abejas polinizadoras de lulo (Obregon *et al*., 2021). Otro ejemplo es un estudio realizado en Costa Rica que demostró que los cafetales rodeados de árboles y vegetación natural, al menos a 1 km de distancia, albergaron más especies de abejas y aves, lo que se tradujo en una



**Figura 2.** Parasitoide al rescate. Planta de rábano repleta de pulgones (áfidos) y enemigo natural (avispa parasitoide, indicado con la flecha roja) atacando a la plaga. Foto: Sergio Zapata-Martínez.

mayor polinización, un mejor control de plagas, un aumento del 20 % en la producción de café y una disminución del 27 % de granos pequeños o deformes (Ricketts *et al*., 2004).

Si bien es importante considerar que hay otros factores que pueden influir, como las características a escala local, la historia del uso del suelo (tipo de cultivo, años con ese cultivo, cultivos anteriores, uso y frecuencia del fuego para eliminar la maleza, etc.), características geográficas como el clima, tipo de suelo y orografía o factores socioambientales como políticas públicas en el manejo de campos agropecuarios, prácticas y saberes locales, entre otros, estos casos demuestran que invertir en la conservación y promoción de la biodiversidad beneficia a los agricultores.

## EL CAMBIO DE USO DEL SUELO: UN DESAFÍO PARA LA BIODIVERSIDAD

El cambio de uso del suelo, especialmente la transformación de bosques y selvas en tierras agropecuarias, es una de las principales amenazas para la biodiversidad. Cuando se elimina la vegetación natural, se pierden los hábitats de polinizadores y enemigos naturales de plagas. Además, las grandes extensiones de monocultivos (*i.e*., un solo tipo de cultivo) reducen la disponibilidad de recursos alimenticios y refugios, lo que afecta negativamente a estos organismos. En el trópico, las áreas agropecuarias de manejo intensivo y poco diversas son dominantes y están en incremento, lo cual es preocupante por el impacto negativo sobre la biodiversidad. Así pues, cuando un bosque o selva es transformado en una enorme extensión de cultivo de caña, todas las abejas, mariposas, aves, murciélagos y demás especies que se alimentan del néctar de la gran diversidad de plantas que ahí habitaban muy probablemente desaparecerán del lugar, pues dicho cultivo ahora no les proporciona alimento ni refugio a todas esas especies. Además, las plantas que dependen de estos animales para producir frutos también sufrirían graves consecuencias. Por otro lado, los animales que sirven como enemigos naturales de plagas también desaparecerían, permitiendo que las plagas incrementen su presencia (Figura 2).

Un trabajo de revisión sobre 21 cultivos distribuidos en 15 países de cinco continentes, demostró que los paisajes agrícolas con mayor diversidad de cultivos y presencia de vegetación natural tenían una mayor abundancia y diversidad de polinizadores y, por lo tanto, una mayor producción de frutos. Conforme los cultivos se alejan de áreas naturales (*e.g*., bosques, selvas), la polinización y la generación de frutos disminuye; de acuerdo con este mismo estudio, la distancia mínima de los cultivos a las áreas naturales para mantener una estabilidad en la riqueza de visitantes florales y la producción de frutos es de 1 km (Garibaldi *et al*., 2011). Esto demuestra que la diversificación del paisaje no solo es buena para la naturaleza, sino también para los agricultores. Sin embargo, es importante considerar que estos son estudios de caso y que existen otros factores, como los socioambientales, la escala espacial y el manejo del uso del suelo, entre otros, que pueden influir en los resultados; por lo cual no podemos considerarlos como una verdad absoluta, pero sí como estudios que demuestran la importancia de la conservación de áreas naturales en los cultivos.

## ¿CÓMO PODEMOS AYUDAR?

De acuerdo con la FAO, para el año 2050 se pronostica un aumento del 70 % al 100 % en la demanda mundial de productos agrícolas (FAO 2011). Afortunadamente, ante esta realidad existen prácticas agrícolas que pueden ayudar a conservar la biodiversidad y mejorar la producción de alimentos. Algunas de estas prácticas son:

- *Conservar remanentes de vegetación natural.* Los fragmentos de bosque, las cercas vivas diversificadas (es decir, con diferentes especies de árboles), el enriquecimiento con plantas originales de la zona y los árboles aislados proporcionan hábitats esenciales para polinizadores y enemigos naturales. Además, sirven como corredores biológicos para la fauna silvestre, mejoran la calidad del suelo y regulan el microclima (Krewenka *et al*., 2011). Es muy importante que las cercas vivas y los árboles aislados, así como la siembra de vegetación alrededor o dentro de los cultivos, sean especies nativas, es decir, especies originales de la zona, ya que sembrar especies exóticas traería resultados contraproducentes para la conservación de la biodiversidad.
- *Diversificar los cultivos.* La rotación de cultivos y la intercalación de diferentes especies pueden aumentar la disponibilidad de recursos alimenticios y reducir la incidencia de plagas. Además, tener diferentes cultivos es un seguro ante las adversidades naturales. Por ejemplo, si llegase a caer una plaga muy fuerte sobre un extenso monocultivo, digamos de maíz, la plaga del maíz no tendría barreras y dañaría casi la totalidad de este cultivo. En cambio, si este cultivo de maíz estuviera intercalado con otros cultivos, la plaga no podría avanzar o le sería más difícil. De esta manera, estos otros cultivos, o mejor aún, remanentes de selvas o bosques, podrían funcionar como filtros ambientales.
- *Reducir el uso de agroquímicos.* Los pesticidas no solo matan plagas, sino también a insectos benéficos, dañando incluso la salud humana. En este mismo tenor, los agroquímicos usados para nutrir a los cultivos también pueden tener efectos negativos en el ambiente, contaminando cuerpos de agua y promoviendo la desertificación del suelo. Reducir el uso de agroquímicos y optar por alternativas orgánicas puede proteger a los polinizadores, a los enemigos naturales y mantener o incluso mejorar la salud de los ecosistemas.

## BENEFICIOS PARA LOS AGRICULTORES Y EL PLANETA

La conservación de la biodiversidad en los paisajes agrícolas no solo es benéfica para la naturaleza, sino también para los agricultores. Los polinizadores y enemigos naturales pueden aumentar la productividad de los cultivos, reducir la dependencia de pesticidas y mejorar la calidad de los alimentos (Klinnert *et al*., 2024; Figura 3). Además, los paisajes diversos son más resistentes a los impactos del cambio climático, como sequías e inundaciones. Por ejemplo, si tenemos un terreno de 50 hectáreas sembradas solamente con maíz, ¿qué pasaría si le cae un insecto que se convierta en plaga o una enfermedad?¿Cuántas hectáreas se salvarían? Seguramente muy pocas o ninguna. En cambio, si en esas 50 hectáreas existe de manera intercalada: calabaza, frijol, maíz, plátano, papaya, café, cacao, etc., es muy probable que solo perdamos una parte del cultivo del maíz, lo cual ya no suena tan malo.

**Figura 3.** ¡Enemigos naturales al ataque! Gusano cornudo del tomate, *Manduca sexta*, plaga del jitomate, tabaco, papa y otros cultivos, invadida con huevos de una avispa parasitoide, su enemigo natural. Cuando los huevos eclosionen, las larvas se alimentarán del gusano. Fuente: dougsmit; Pixabay.



## CONCLUSIÓN: UN FUTURO SOSTENIBLE DEPENDE DE LA BIODIVERSIDAD

La conservación de la biodiversidad en los paisajes agrícolas es una estrategia de ganar-ganar, pues protege a los polinizadores y a los enemigos naturales de plagas, mejora la producción de alimentos y contribuye a la salud del planeta. Como consumidores, también podemos apoyar estas prácticas eligiendo productos agrícolas sostenibles y promoviendo investigaciones y políticas que fomenten la agricultura amigable con la biodiversidad. Un ejemplo de estas investigaciones es la valorización económica de los servicios ambientales, como el mantenimiento de los polinizadores y de los enemigos naturales para el control de plagas. Por ejemplo, en Estados Unidos se ha calculado el valor monetario de estos y otros servicios ambientales en los sistemas agrícolas, estimándose estos beneficios (no agrícolas) en alrededor de 57,000,000,000 de dólares anuales (Losey y Vaughan, 2006). Si en nuestro país se realizaran estimaciones como las anteriores, tal vez nos ayudaría a valorar la importancia de la diversificación en nuestras áreas agropecuarias y captar el interés de las agencias gubernamentales para cuidar nuestro medio ambiente y, a la vez, mejorar la producción y soberanía de nuestros alimentos. Otra forma de contribuir a la producción de alimentos amigables con el ambiente, particularmente con los polinizadores y los enemigos naturales de las plagas, es estar informados sobre estos organismos, conocerlos, valorarlos, respetarlos y transmitir el mensaje a las personas de nuestro alrededor, creando así conciencia de la importancia de estos organismos y el efecto que tienen las grandes extensiones de monocultivos sobre ellos. Finalmente, y a manera de reflexión, es importante mencionar que existe una disyuntiva entre la producción de alimentos mediante policultivos (que impactan en menor grado la biodiversidad) y los monocultivos. Estas dos maneras compiten por espacio, recursos y financiamiento. La producción sostenible implica mayores costos y esfuerzo para los agricultores, quienes rara vez reciben apoyo o incentivos, al menos en nuestro país; mientras que los sistemas agrícolas convencionales siguen siendo los más favorecidos por el mercado y las políticas públicas. Así pues, sin un cambio estructural, proteger la biodiversidad continuará siendo un desafío económico para quienes cultivan la tierra.


## AGRADECIMIENTOS

Proyecto estratégico institucional de investigación colaborativa, ESIIC2025_TAP_07: “Mango Ataúlfo de Chiapas: contribuciones para una producción agroecológica sustentable”.


## REFERENCIAS


FAO (2011). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. Recuperado de: https://www.fao.org/4/i1688s/i1688s.pdf.

Garibaldi LA, Steffan-Dewenter I, Kremen C *et al.* (2011). Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology Letters* 14(10):1062-1072. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01669.x.

Klinnert A, Barbosa AL, Catarino R *et al.* (2024). Landscape features support natural pest control and farm income when pesticide application is reduced. *Nature Communications* 15:5384. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-024-48311-3.

Krewenka KM, Holzschuh A, Tscharntke T, Dormann CF (2011) Landscape elements as potential barriers and corridors for bees, wasps and parasitoids. *Biological Conservation* 144:1816-1825. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.03.014.

Losey JE and Vaughan M (2006). The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience* 56:311-323. DOI: https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[311:TEVOES]2.0.CO;2.

Maza-Villalobos S, Alvarado Sosa E, Arriaza Rodríguez AD *et al* (2023). Dinámica del uso de suelo y vegetación en paisajes altamente modificados por actividades agropecuarias en el sur de México. *Botanical Sciences* 101: 374-386. https://doi.org/10.17129/botsci.3148.

Obregon D, *et al* (2021). Natural habitat partially mitigates negative pesticide effects on tropical pollinator communities. Global Ecology and Conservation 28:e01668. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01668.

Ricketts TH, *et al* (2004). Economic value of tropical forest to coffee production. Proceedings of the National Academy of Sciences 101(34): 12579-12582. https://doi.org/10.1073/pnas.0405147101.

Tscharntke T, *et al* (2007). Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. Biological Control 43: 294-309. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.08.006.

Van Vliet N, *et al* (2012). Trends, drivers and impacts of changes in swidden cultivation in tropical forest-agriculture frontiers: A global assessment. Global Environmental Change 22: 418-429. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.009.



***Susana Maza-Villalobos***
***Sergio Zapata-Martínez***
***El Colegio de la Frontera Sur***
***Departamento de Conservación de la Biodiversidad***
***sumaza@ecosur.mx***

© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.



www.elementos.buap.mx

# El aporte del arbolado urbano: una mirada al parque La Alameda de Texcoco

Tomás **Martínez-Trinidad**
Abigail Ivonne **Merino-Laris**

En las ciudades contemporáneas los espacios verdes suelen concebirse como lugares de descanso, recreación o elementos estéticos en un ambiente urbano. Sin embargo, su importancia va mucho más allá de lo decorativo, pues constituyen un sistema ecológico que sostiene procesos clave del entorno urbano. Los árboles que habitan parques, camellones y jardines desempeñan funciones ambientales esenciales: moderan la temperatura, mejoran la calidad del aire, almacenan carbono, regulan el agua de lluvia y generan condiciones favorables para la convivencia social y la salud humana (Escobedo *et al*., 2011; Mancilla *et al*., 2024). A este conjunto de beneficios se le denomina servicios ecosistémicos (Reid *et al*., 2005), y con frecuencia permanecen invisibles para quienes los disfrutan cotidianamente.

El municipio de Texcoco, en el Estado de México, no es ajeno a los retos que enfrentan muchas ciudades en proceso de expansión, entre ellos el crecimiento urbano acelerado, el aumento de superficies pavimentadas y la presión constante sobre los espacios verdes públicos (Roy *et al*., 2012; Mancilla *et al*., 2024). En este contexto, el parque La Alameda fue inaugurado en 2015 con el objetivo de captar agua de lluvia, consolidarse como el parque urbano más grande de la ciudad y promover la recreación de los visitantes, lo que lo convierte en uno de los principales espacios verdes urbanos del municipio (Figura 1). No obstante,



**Figura 1.** Boceto conceptual del parque La Alameda en Texcoco.

surge una pregunta fundamental: ¿qué tan valioso es realmente el arbolado del parque en términos ambientales y sociales?

Este artículo propone una aproximación divulgativa a dicha pregunta, utilizando una herramienta digital accesible, i-Tree Canopy (https://canopy.itreetools.org/), como punto de partida para reflexionar sobre la cobertura arbórea del parque y los beneficios ambientales que genera.

## MIRAR LA CIUDAD DESDE ARRIBA: UNA HERRAMIENTA PARA ENTENDER EL ARBOLADO URBANO

La estimación de la cobertura arbórea –área cubierta por la copa de los árboles en proyección vertical–, así como de los servicios ecosistémicos asociados, suele percibirse como una tarea exclusiva de especialistas y estudios técnicos complejos (Roy *et al*., 2012). Sin embargo, el desarrollo de herramientas digitales ha permitido acercar este tipo de análisis a un público más amplio. Tal es el caso de i-Tree Canopy, una plataforma de uso gratuito que utiliza imágenes satelitales y fotointerpretación para estimar la composición espacial de elementos como arbolado, vegetación herbácea y superficies impermeables en los parques y áreas verdes de la ciudad.

Mediante la clasificación visual de 500 puntos seleccionados de manera aleatoria sobre el mapa de una superficie seleccionada –por ejemplo, un parque–, la herramienta permite clasificar la proporción de clases de cobertura, como superficies ocupadas por árboles, pastos, caminos y áreas pavimentadas, con un nivel de confianza aceptable de acuerdo con i-Tree Canopy. A partir de estas proporciones, se generan estimaciones de referencia sobre beneficios ambientales como la captura de carbono, la remoción de contaminantes del aire o la regulación del escurrimiento del agua de lluvia (Livesley *et al*., 2016). Es importante señalar que estas estimaciones generadas por esta herramienta aún no están ajustadas específicamente para las condiciones ambientales de México, por lo que deben interpretarse con cautela. No obstante, su valor radica en que permite visualizar tendencias, contrastes y valores potenciales, lo cual resulta especialmente útil en contextos educativos y de sensibilización ciudadana.

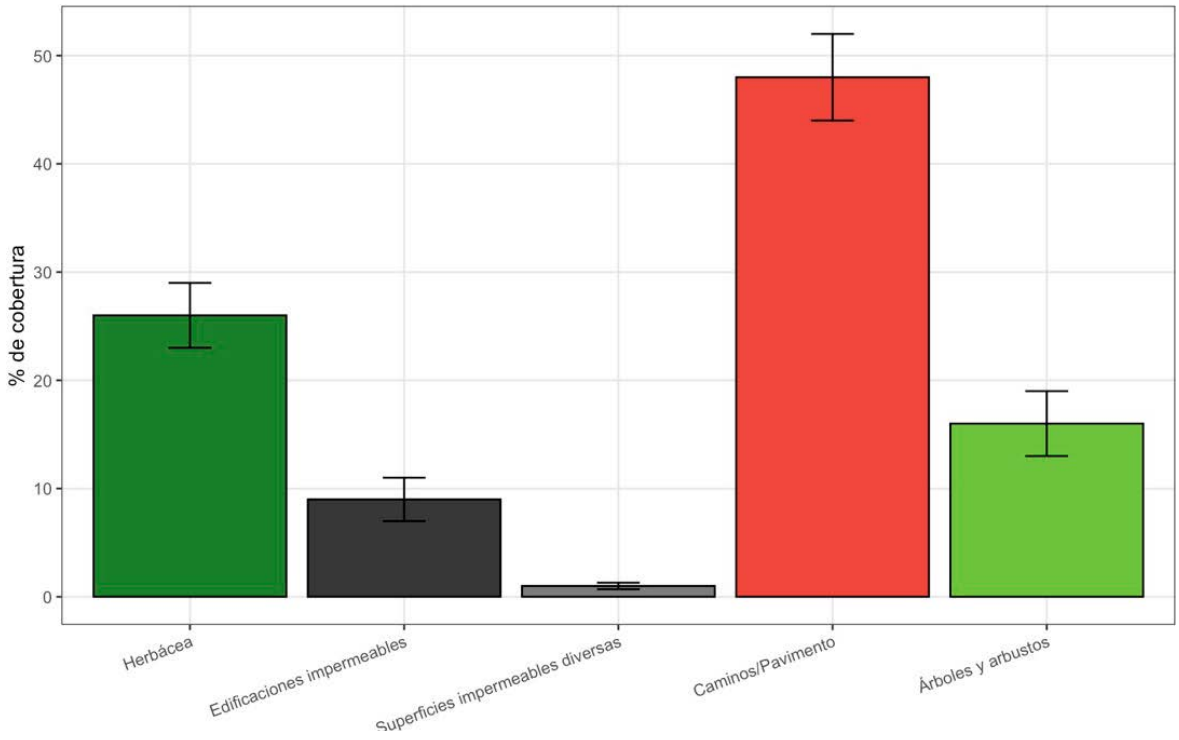



**Figura 2.** Gráfico de barras de la cobertura de suelo por categorías en el parque La Alameda, Texcoco obtenido por i-Tree Canopy.

**¿QUÉ NOS DICE EL ARBOLADO DE LA ALAMEDA DE TEXCOCO?**

El análisis del parque La Alameda revela un rasgo característico de muchas áreas verdes urbanas: la predominancia de superficies impermeables. Por ejemplo, los caminos, las plazas y las superficies pavimentadas ocupan más de la mitad de la superficie de La Alameda en Texcoco, mientras que el arbolado representa solo el 16 % de su superficie total (Figura 2). El resto corresponde a zonas con arbustos, pastos y espacios abiertos.

Al tratarse de un arbolado joven se espera que la cobertura de las copas aumente con el tiempo si se mantienen condiciones adecuadas de manejo en el parque. Los resultados son consistentes con lo reportado en otros parques urbanos; sin embargo, en el caso del parque La Alameda se asocian con su configuración espacial abierta, la composición de especies y su función como área verde en una zona con déficit de cobertura arbórea.

A primera vista, esta cobertura arbórea podría considerarse limitada. Sin embargo, aun en estas condiciones, los árboles de un parque de escala media aportan beneficios ambientales relevantes. Su presencia contribuye al almacenamiento y captura de carbono, lo que ayuda a disminuir, si bien de manera modesta, las emisiones asociadas al cambio climático. Asimismo, el arbolado participa en la mejora de la calidad del aire al remover contaminantes como partículas suspendidas y ozono, estrechamente vinculados con problemas respiratorios y cardiovasculares (Nowak *et al*., 2014). Esto cobra mayor relevancia al considerar la presión urbana sobre los recursos naturales y la limitada disponibilidad de áreas con cobertura arbórea, como ocurre en el caso de Texcoco.

Otro aspecto menos visible, pero igualmente significativo, es la regulación del agua de lluvia. Las copas de los árboles interceptan parte del agua, reducen la escorrentía superficial y disminuyen la carga sobre el sistema de drenaje urbano durante la temporada de lluvias (Livesley *et al*., 2016). Lo anterior se ve potenciado por los pozos de infiltración que se colocaron durante la construcción del parque.



**Figura 3.** El arbolado del parque La Alameda en Texcoco, Estado de México, el más extenso de la zona urbana del municipio (5 hectáreas).

A ello se suma la creación de microclimas más agradables, con sombra y temperaturas moderadas, que favorecen el uso recreativo del parque y el bienestar de quienes lo visitan. En conjunto, estos elementos sugieren que incluso una cobertura arbórea modesta puede generar beneficios ambientales y sociales tangibles, aunque también dejan en evidencia la existencia de un amplio margen de mejora (Mancilla *et al*., 2024).

## APRENDER DEL PARQUE: SENSIBILIZACIÓN, EDUCACIÓN Y ACCIÓN COLECTIVA

Reconocer los beneficios del arbolado urbano es solo el primer paso. Traducir este conocimiento en acciones requiere la participación activa de la comunidad, las instituciones educativas y, principalmente, las autoridades locales. Parques como La Alameda pueden convertirse en laboratorios urbanos y aulas al aire libre, donde estudiantes y docentes observen directamente la relación entre vegetación, ciudad y bienestar.

Desde el ámbito educativo, el uso de herramientas como i-Tree Canopy permite vincular conceptos de biología, geografía, ciencias ambientales y urbanismo con el entorno inmediato de las y los estudiantes. Al mismo tiempo, fomenta una mirada crítica sobre el diseño urbano y la necesidad de fortalecer la infraestructura verde como estrategia frente a los actuales retos ambientales. De forma complementaria, esta herramienta puede servir como insumo para los tomadores de decisiones municipales, tanto en el fomento de la educación ambiental como en la elaboración de planes de gestión del arbolado urbano.

## REFLEXIONES FINALES

El arbolado del parque La Alameda de Texcoco (Figura 3), así como el de otros parques en el país, aunque no domina el paisaje urbano, constituye un activo ambiental y social de gran relevancia. Esto se debe a que el arbolado aporta servicios ecosistémicos que mejoran la calidad del aire, regulan el clima local y contribuyen al manejo del agua de lluvia, lo que fortalece el valor social del espacio público y puede reducir el presupuesto destinado a atender problemáticas ambientales que el arbolado contribuye a mitigar.

Este caso evidencia que los parques urbanos no deben entenderse únicamente como áreas de esparcimiento, sino como infraestructura verde estratégica



© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

cuya gestión y fortalecimiento pueden incidir de manera directa en la calidad de vida urbana. Incrementar y diversificar la cobertura arbórea, así como fomentar su cuidado, representa una oportunidad para avanzar hacia ciudades más resilientes y sostenibles. Finalmente, los estudios divulgativos que utilizan herramientas de uso gratuito, como i-Tree Canopy, buscan tender un puente entre la investigación científica, la educación y la acción ciudadana, promoviendo una valoración informada de los árboles urbanos y del papel que desempeñan en nuestra vida cotidiana.

**AGRADECIMIENTOS**

A la LGAC "Mejoramiento Funcional y Estructural de los Ecosistemas Forestales" del Colegio de Postgraduados y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca de maestría para AIML. Asistencia parcial de IA Gemini (Google) solo para revisión de redacción y estilo.

## REFERENCIAS

Escobedo FJ, Kroeger T and Wagner JE (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution* 159:2078-2087. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010.

Livesley SJ, McPherson EG and Calfapietra C (2016). The urban forest and ecosystem services: Impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. *Journal of Environmental Quality* 45(1):119-124. DOI: https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567.

Mancilla Morales M, Mohedano-Caballero L, Victorino R *et al.* (2024). Servicios ambientales de la vegetación arbórea de los parques de Texcoco de Mora, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 15:69-88.DOI: https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i82.1452.

Nowak DJ, Hirabayashi S, Bodine A and Greenfield E (2014). Tree and forest effects on air quality and human health. *Environmental Pollution* 193:119-129. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028.

Reid W, Berkes F, Wilbanks T and Capistrano D (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, DC: Island Press.

Roy S, Byrne J and Pickering C (2012). A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening* 11(4):351-363.DOI: https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.06.006.

***Tomás Martínez-Trinidad***
***Abigail Ivonne Merino-Laris***
***Posgrado en Ciencias Forestales***
***Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo***
***tomtz@colpos.mx***




**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.



**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.



**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

www.elementos.buap.mx

# Los gestos como instrumentos para la enseñanza-aprendizaje

Aline **Minto-García**

En el salón de clases, los maestros enfrentan muchos retos para alcanzar el aprendizaje de sus estudiantes. En México, el sistema de educación inicial y básica ha tenido diversos cambios a lo largo de varias décadas, según las políticas públicas de los gobiernos en turno; por esta razón, se han aplicado varias estrategias enfocadas a alcanzar los propósitos educativos (y, quizá, de algunas se ha probado su efectividad). Dichas estrategias pedagógicas responden actualmente a una nueva visión de la educación o a propuestas innovadoras sobre el estudio de ciertos fenómenos relacionados con el proceso de aprendizaje (como, por ejemplo, la literacidad). Si bien la complejidad de los contextos educativos exige tomar en cuenta otras variables para lograr el aprendizaje, es imprescindible no perder de vista que el principal proceso por el cual podemos transmitir conocimientos y propiciar el desarrollo de habilidades (y, con ello, alcanzar el aprendizaje) es la comunicación humana.

Desde una visión psicolingüística, se ha buscado comprender cómo nos comunicamos los seres humanos para diferentes propósitos. Los estudiosos de la comunicación humana han advertido que no solo podemos comunicarnos a través del habla, sino también por medio de los movimientos del cuerpo (o de algunas de sus partes) e, incluso, de la proximidad que establecemos con nuestro interlocutor. En este artículo nos enfocaremos en los

gestos, movimientos corporales que participan en la comunicación (McNeill, 1992) y que, por ende, constituyen un elemento de los procesos cognitivos que subyacen al proceso de aprendizaje.

#### ¿QUÉ SON LOS GESTOS?

Cuando las personas hablan, comúnmente mueven sus manos e incluso sus brazos. Si le explicamos a alguien cómo llegar a un lugar, indicamos con uno o varios dedos la dirección que debe tomar, ilustramos con las manos el giro que debe hacer la persona para tomar el camino correcto, o bien representamos los rasgos que resaltan de una calle o edificio para ubicar fácilmente a nuestro interlocutor en el espacio imaginario que construimos con las manos. Estos movimientos comunican información y poseen un papel relevante en los mensajes orales que construimos. Los gestos, como han sido denominados estos movimientos, coexpresan con el habla y son elementos constitutivos de la significación que integran información junto con las palabras (McNeill, 1992).

¿Cualquier movimiento de las manos puede ser un gesto? No, en sentido estricto. Los gestos poseen significado y se realizan con una intención comunicativa. Si muevo mis manos con un propósito distinto, por ejemplo, para ejecutar una acción no relacionada con el acto de hablar, como sacudir el polvo de un espacio, no estamos frente a un gesto.

Las manos, entonces, se constituyen en instrumentos simbólicos que ejecutan movimientos sincronizados con el habla para comunicar algo. Según McNeill (1992), uno de los principales estudiosos de la gestualidad, los gestos coexisten con el discurso y, en conjunto, conforman dos lados diferentes de un mismo proceso mental subyacente. De esta manera, la gestualidad cumple múltiples funciones comunicativas en coexpresión con el habla (véase, por ejemplo, Minto-García *et al*., 2024).

Los gestos han sido clasificados según diversas propuestas; entre ellos destacan los gestos deícticos, identificados por ser movimientos que prototípicamente se realizan con los dedos (aunque puede usarse cualquier objeto extensible –como un lápiz– o alguna otra parte del cuerpo –como la cabeza, la nariz o el mentón–) y que apuntan o señalan algún objeto, persona, espacio o situación. Los gestos deícticos han sido empleados por los niños con diversas funciones comunicativas; por ejemplo, para mostrar, ofrecer y dar un objeto, o bien, para realizar una petición a manera de ritual (Goldin-Meadow, 2015).

Además de los gestos deícticos, existen los gestos icónicos, los metafóricos y los rítmicos (McNeill, 1992). Los gestos icónicos ilustran un objeto, evento o acción concretos; con su ejecución o forma representan los rasgos que son propios de aquello a lo que refieren –por ejemplo, las manos pueden ilustrar la redondez de una pelota. Los gestos metafóricos representan ideas abstractas a través de movimientos que ilustran objetos físicos o rasgos que los caracterizan; representan en forma y modo los vehículos de las metáforas (por ejemplo, el movimiento de las manos con las palmas hacia arriba y los brazos extendidos, mientras el hablante dice "ruego a Dios"). Finalmente, los gestos rítmicos –también conocidos como movimientos batuta o *beats*– son movimientos con contenido pragmático similares al compás musical; estos coexpresan con el ritmo del discurso y se caracterizan por ser movimientos adentro/afuera o arriba/abajo (por ejemplo, los movimientos que una madre puede realizar con su mano extendida con el mismo ritmo con el que emite una frase como: "te dije que no hicieras eso").

**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.



## LOS MOVIMIENTOS DE LAS MANOS EN LA COMUNICACIÓN HUMANA

La información que se comunica a través de los gestos suelen ser conceptos que no siempre son o pueden ser expresados por medio de palabras. Los bebés, por ejemplo, cuando aún no pueden emitir palabras, emplean los gestos para comunicarse con sus padres o hermanos. Si bien el gesto y el habla se desarrollan juntos, la comunicación gestual precede a la habilidad para producir palabras (Goldin-Meadow, 2015). Las ideas que los bebés aún no pueden expresar con palabras las comunican con gestos, pero, conforme sucede el desarrollo de los hablantes, el gesto y el habla se sincronizan para comunicar (McNeill, 1992).

Precisamente, el uso de la combinación gesto y habla ha sido ampliamente estudiado en contextos de discursos narrativos en niños de diferentes edades. Minto-García y colaboradores (2024) estudiaron las funciones comunicativas que cumple el uso del gesto, en coexpresión con el habla, en el recuento de historias en niños mexicanos de 30, 36, 42 y 48 meses de edad. En el marco de una tarea de atención conjunta a un libro, los investigadores identificaron que los gestos desambiguaron o reforzaron la información expresada por medio del habla; además, la mayoría de los gestos se realizó con una función asertiva, pues emergieron para expresar afirmaciones asociadas a eventos o acciones con objetos y personajes, elementos que son inherentes a la narración. En este sentido, concluyen que el gesto es un elemento con una participación relevante en la construcción de la narración.

**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.



Estudiosos del desarrollo del lenguaje se han preguntado sobre el papel de los gestos en la comunicación humana y, por ende, en el desarrollo de las habilidades verbales en distintos tipos de contextos comunicativos. Diversas investigaciones científicas han demostrado que el uso del gesto por parte de bebés que aún no hablan, predice la aparición de hitos lingüísticos. Los niños que producen más gestos a temprana edad adelantan significativamente la aparición de sus primeras palabras y su vocabulario suele ser más extenso a lo largo de su desarrollo, en comparación con aquellos cuya producción de gestos es menor. El uso de gestos en la infancia, específicamente de aquellos que aparecen junto con palabras, predice de forma confiable el momento en que emitirán expresiones de dos palabras (Goldin-Meadow, 2015). Justamente este carácter predictivo del gesto con relación al desarrollo del lenguaje oral ha dirigido la atención de psicólogos y lingüistas hacia el estudio de este fenómeno en contextos de enseñanza-aprendizaje.

## LOS GESTOS COMO VEHÍCULOS DE APRENDIZAJE

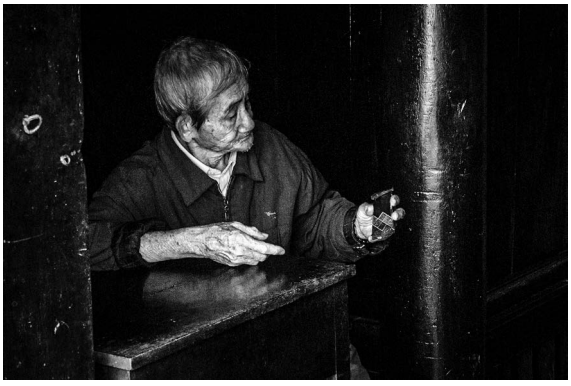
La información que proporcionan los gestos enriquece los mensajes y, como consecuencia, el proceso de comunicación suele ser más efectivo, lo cual propicia, a su vez, mejores condiciones para el aprendizaje. Desde hace algunas décadas se ha sostenido que los gestos cumplen una función preponderante en los procesos de aprendizaje, puesto que están involucrados en procesos de cambio cognitivo; en términos generales, se considera a la gestualidad como una herramienta para el crecimiento cognitivo de los aprendices con dos tipos de intervenciones: de forma indirecta, por medio de la comunicación de padres y maestros, y de forma directa, como modo de expresión y exploración de ideas que pueden ser difíciles de pensar a través del lenguaje oral. Por el momento, concentrémonos en cómo los gestos contribuyen de forma indirecta al crecimiento cognitivo.

Se ha observado que emplear el gesto como estrategia para el aprendizaje de nuevas palabras

ha traído consigo resultados favorables. Con la intención de demostrar que la forma de comunicación de los cuidadores influye en el aprendizaje de palabras, De Villiers y Zukow-Goldring (2010), en un estudio experimental con niños de 9 a 14 meses de edad, demostraron que la observación de la sincronía del gesto y el habla trae consigo en los infantes un mejor aprendizaje de palabras en comparación con la observación de gestos asíncronos con el habla, precisamente porque los movimientos gestuales permiten un mayor control de la atención de los infantes en el momento en que los hablantes (madre, padre o cuidador principal) expresan (y presentan) nuevas palabras y sus referentes. Como consecuencia, los niños que presenciaron la sincronía de gesto y habla vincularon exitosamente las palabras con su referente, lo cual trajo consigo el aprendizaje de nuevas palabras. Este hallazgo tiene una implicación: es altamente probable que la coexpresión del gesto con el habla favorezca la capacidad de retención de información en los niños.

El gesto es un indicador de cambio cognitivo que puede ser empleado para alterar el ritmo del aprendizaje y el desarrollo (Goldin-Meadow, 2015). Otros estudios empíricos han probado que el gesto en coexpresión con el habla sirve de apoyo para el aprendizaje de una lengua; es decir, el gesto que el niño observa de los adultos propicia el desarrollo de su lenguaje. Por ejemplo, Capone y Saks (2015) identificaron que niños de aproximadamente 2.5 años de edad con desarrollo típico y con retraso temprano en el lenguaje aprendieron una mayor cantidad de palabras cuando se las enseñaron con ayuda de gestos que ilustraron y resaltaron la forma o las funciones del referente, a diferencia de aquellos niños que no estuvieron expuestos al uso de gestos.

Dado que se observó que el uso conjunto de palabras y gestos icónicos (aquellos que, recordemos, ilustran la forma o los rasgos del referente) impulsa el aprendizaje de palabras, algunos se preguntaron si el empleo del gesto para la comunicación puede aumentarse experimentalmente, lo cual permitiría aumentar intencionalmente el vocabulario de los



**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

niños. Para dar respuesta, LeBarton y colaboradores (2015) realizaron un experimento en niños de 17 meses de edad en promedio; en un grupo se probó la condición experimental y en dos más se llevaron a cabo condiciones de control. En la condición experimental, se le pidió al niño que realizara el gesto que previamente había observado de la ejecución del investigador; es decir, el investigador realizó un gesto y, posteriormente, el niño gestualizó. En una de las condiciones de control, el niño únicamente observó el gesto del investigador, mientras que en la segunda condición de control el investigador no gestualizó ni propició la emergencia del gesto en el niño. La condición experimental trajo consigo mejores resultados tanto en el propio aumento de la gestualidad como en el desarrollo del lenguaje oral de los niños. Después de someterse a una intervención de seis semanas, los niños incrementaron su uso de los gestos y tuvieron un repertorio oral más amplio; en concreto, el aumento del uso del gesto tuvo un efecto positivo en la cantidad de palabras nuevas diferentes que aprendieron y que fueron empleadas en las interacciones espontáneas que los niños establecieron posteriormente con sus cuidadores.

Con base en la idea de que la integración del gesto en las explicaciones o instrucciones orales produce mayor comprensión en los oyentes, Cook y Goldin-Meadow (2006) estudiaron un grupo de 49 niños de tercer y cuarto grado de primaria. En este experimento se manipularon dos condiciones sobre la manera en que el instructor explicó cómo resolver un problema de equivalencia matemática; por un lado, la explicación se realizó en coexpresión con el gesto



**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

–el experimentador realizó movimientos de barrido hacia la izquierda y la derecha, según el lado de la ecuación al que deseaba referirse– y, por otro, dicha explicación se llevó a cabo únicamente a través del discurso –el experimentador colocó sus manos a la altura de su cintura sin hacer movimientos. En esta investigación se concluyó que los aprendices que recibieron instrucciones sobre una estrategia de resolución de problemas matemáticos por medio de la coexpresión gesto-habla pudieron reproducir correctamente dicha estrategia y, por lo tanto, se sugiere que podrían tener más probabilidades de tener éxito en una prueba posterior.

La aparición del gesto también tiene un impacto en la comprensión de indicaciones. En una interacción lúdica con niños de preescolar de 4 años de edad, la maestra de grupo comunicó a sus alumnos consignas de juego; después de realizar un análisis de dicho discurso y de la gestualidad empleada en las secuencias de regulación del juego, se identificó que los gestos suelen representar aspectos centrales de las instrucciones, ya que resaltan y precisan información asociada a la organización del juego mediante la ejemplificación y concretización de los conceptos abstractos expresados a través de la oralidad. Con base en estos hallazgos, Migdalek y Rosemberg (2012) sugieren la posibilidad de que los gestos contribuyan a la comprensión de las instrucciones, puesto que podrían fijar la atención de los niños en aspectos cruciales. Cuando los maestros utilizan gestos que aportan información adicional a sus explicaciones orales, el mensaje se vuelve más claro y completo. Estos gestos ayudan a los estudiantes a comprender mejor las ideas, lo que se traduce en un aprendizaje más efectivo (Singer y Goldin-Meadow, 2005).

Específicamente con población mexicana, Minto-García y colaboradores (2020) identificaron que existe una relación entre la producción gestual de las madres y la producción de palabras de sus hijos de 48 meses de edad. En un contexto narrativo de atención conjunta a un libro con ilustraciones sin texto escrito, encontraron que, a mayor número de gestos usados por las madres en el momento en que contaban una historia a sus hijos, fue mayor la cantidad de palabras distintas producidas por los niños en el momento en que tuvieron su turno para contar una historia. Este hallazgo sugiere que la gestualidad de las madres está vinculada a la amplitud del vocabulario productivo de sus hijos, es decir, a la cantidad de palabras distintas producidas por los niños en dicha narración. Parece ser, entonces, que los gestos que los niños observan de sus madres influyen en su desempeño comunicativo y narrativo.

## REFLEXIÓN FINAL

La evidencia científica de que el uso del gesto en la comunicación con niños beneficia su aprendizaje tiene diversas implicaciones. Si consideramos que la observación de comunicaciones en las que el gesto coexpresa con el habla favorece el crecimiento cognitivo, es sumamente necesario que los encuentros comunicativos que los niños viven y que poseen propósitos de enseñanza-aprendizaje sean cara a cara; es decir, los niños necesitan ver, presenciar y vivenciar al maestro, a sus padres o a sus instructores para ser partícipes de la comunicación gestual y, con ello, beneficiarse de ella. En el contexto escolar, el uso de la gestualidad con una finalidad clara podría mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Si la comunicación gestual ha podido aumentarse experimentalmente, también podría dirigirse para que los hablantes la ejecuten con objetivos pedagógicos específicos. Es necesario revalorar los recursos con los que contamos como seres humanos para comunicarnos exitosamente, lo cual nos podría permitir



© **Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

lograr propósitos que trasciendan el campo de la enseñanza-aprendizaje. Ante este escenario surgen muchas interrogantes sobre el papel del gesto en el ámbito educativo, especialmente para el que nos ocupa en México. Si bien la investigación científica sobre el uso del gesto en la población mexicana es incipiente, por supuesto, podríamos comenzar con el diseño de intervenciones en las que el gesto tenga una participación activa y mediante las cuales pueda probarse su efectividad, no solo experimentalmente, sino también directamente en el campo de aplicación en el contexto de la educación mexicana.

Ante la búsqueda de opciones para hacer frente al rezago educativo en México, el uso de la comunicación gestual podría representar una iniciativa poco costosa (en todos los sentidos) y que, con base en los hallazgos científicos, si se ejecuta con claros propósitos pedagógicos, podría favorecer los procesos de enseñanza-aprendizaje; por ejemplo, para la comprensión lectora con el aumento del tamaño del vocabulario de los niños, para el desarrollo del pensamiento crítico o el pensamiento matemático con explicaciones más claras, o para dar paso al conocimiento del mundo a través de explicaciones significativas de las ciencias naturales y sociales.

## REFERENCIAS


Capone N and Saks J (2015). Co-speech gesture input as a support for language learning in children with and without early language delay. *Perspectives on Language Learning and Education* 22:61-71.

Cook S and Goldin-Meadow S (2006). The role of gesture in learning: Do children use their hands to change their minds? *Journal of Cognition and Development* 7(2):211-232.

De Villiers N and Zukow-Goldring P (2010). How the hands control attention during early word learning. *Gesture* 10(2-3):202-221.

Goldin-Meadow S (2015). Gesture as a window onto communicative abilities: Implications for diagnosis and intervention. *Perspectives on Language Learning and Education* 22(2):50-60.

LeBarton ES, Goldin-Meadow S and Raudenbush S (2015). Experimentally-induced increases in early gesture lead to increases in spoken vocabulary. *Journal of Cognition and Development* 16(2):199-220.

McNeill D (1992). *Hand and Mind*. Chicago: University of Chicago Press.

Migdalek MJ y Rosemberg C (2012). El uso de los gestos en el discurso docente durante la planificación del juego en el jardín de infantes. *Bellaterra Journal of Teaching and Learning Language and Literature* 5(3):25-43.

Minto-García A, Alva-Canto EA and Arias-Trejo N (2020). Mothers' Use of Gestures and Their Relationship to Children's Lexical Production. *Psychology of Language and Communication* 24(1):175-200.

Minto-García A, Alva-Canto EA, Arias-Trejo N and Jasso T (2024). The function of the pointing gesture-speech combination in children's story retelling. *Spanish Journal of Applied Linguistics* 38(1).

Singer M and Goldin-Meadow S (2005). Children learn when their teacher´s gesture and speech differ. *Psychological Science* 16(2):85-89.



***Aline Minto-García***
***Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades***
***"Alfonso Vélez Pliego", BUAP***
***amintog@hotmail.com***

www.elementos.buap.mx

# Injusticia epistémica y sus implicaciones para la tradición filosófica en clave femenina

Verónica **Ramírez Cárdenas**
Cintia C. **Robles Luján**

En este trabajo nos proponemos explorar el concepto de injusticia epistémica como uno de los horizontes a partir de los cuales se puede señalar una significativa omisión en las aportaciones de la mujer en la historia de la filosofía, aunque no solo en este campo; actualmente, el trabajo científico humanista hecho por mujeres presenta grandes desafíos, entre los que destaca, según la UNESCO, la desigualdad de género en las profesiones científicas debido a discriminaciones sexistas, brechas salariales y oportunidades limitadas para ascensos profesionales, entre otros.

Pese a los esfuerzos que se han hecho para visibilizar y legitimar el conocimiento filosófico producido por mujeres –como la creación de la Red de Mujeres Filósofas de América Latina –, en su mayor parte se mantiene oculto o solamente está al alcance de personas que participan en organizaciones afines. Analizar el concepto de injusticia epistémica como horizonte de omisión nos puede conducir hacia una legitimación y visibilización exitosa de la herencia de las mujeres a la tradición filosófica.

En este horizonte, encontramos una importante tradición y estudios filosóficos que evidencian modelos de injusticia epistémica, como los tratamientos de Michelle Moody-Adams, Cheshire Calhoun y, principalmente, el de la

filósofa inglesa Miranda Fricker. En su obra *Injusticia epistémica: el poder y la ética del conocimiento*, Fricker introduce la definición de este concepto como el agravio ocasionado hacia una persona en su estatus de sujeta de conocimiento por cuestiones identitarias: sexo, raza, clase, orientación sexual, edad, etcétera. En otras palabras, la injusticia epistémica no desestima un conocimiento por sus posibles carencias, como la falta de fundamento, pues esto pasa a segundo plano, sino por las características de la persona que lo transmite.

Ahora, el agravio al estatus de sujeta de conocimiento también se ve ocasionado por la falta de acceso a los recursos conceptuales que le permiten comprender sus experiencias sociales. La injusticia epistémica se expresa en dos formas: como injusticia testimonial que otorga un grado de credibilidad disminuido a las hablantes; esto es, a las personas que transmiten un conocimiento, y como injusticia hermenéutica, que limita la comprensión de las experiencias de desventaja de quienes no tienen acceso a los recursos conceptuales que le dan sentido.

Advertir que las filósofas se han enfrentado a la anulación de su condición de sujetas de conocimiento permite crear un marco conceptual para comprender la experiencia de su omisión en la historia del pensamiento filosófico. Ahora bien, es preciso señalar que la presencia de las mujeres en la filosofía es una realidad, y para mostrarlo basta con revisar el índice de las obras que han reconocido sus contribuciones. Entre ellas, destaca la de Ingeborg Gleichauf, titulada *Mujeres filósofas en la historia. Desde la Antigüedad hasta el siglo XXI* (2010).[1]

Son pocas las filósofas que se nombran en cada época pero, aun así, la intención de visibilizar el importante papel de la mujer en el desarrollo del pensamiento filosófico se revela en la obra de Gleichauf, puesto que manifiesta que las mujeres siempre han sido partícipes de este.

Vale la pena mencionar que en el recuento de filósofas que llevó a cabo Ingeborg Gleichauf encontramos a Sor Juana Inés de la Cruz, filósofa novohispana reconocida como pionera de la filosofía en México



**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

(Velasco, 2023). Así, podemos decir que Sor Juana abrió el camino para que las mujeres mexicanas pudieran dedicarse a la filosofía, entre las que se cuentan a Rosa Krauze, Carmen Rovira, Graciela Hierro, Laura Benítez, Eli Bartra y Rosario Castellanos, quien, aunque no es reconocida como filósofa, reflexiona acerca de la situación de las mujeres, especialmente en el ámbito cultural.

## EL CONCEPTO DE INJUSTICIA EPISTÉMICA

En el artículo *Conceptos de injusticia epistémica en evolución*, Miranda Fricker (2021) menciona que acuñó el término *injusticia epistémica* con la finalidad de designar el daño "que se da cuando alguien, de forma ingenua o inadvertida, minusvalora o desprecia a otra persona en lo referido a su estatus de sujeto epistémico" (Fricker, 2021), el cual se constituye por las capacidades para transmitir conocimiento y dar sentido a las experiencias sociales.

La ingenuidad del agravio de la injusticia epistémica está dada por un prejuicio aprehendido acríticamente y que, por consiguiente, pasa desapercibido "cuando opera mediante imágenes estereotípicas alojadas en la imaginación social colectiva" (Fricker, 2017). Un ejemplo es el estereotipo que asocia al sexo femenino con la intuición, lo que da lugar al prejuicio de que las mujeres son irracionales, puesto que dicha capacidad no depende de la razón, sino de la emoción (Jódar, 2014). De ahí que las mujeres seamos un grupo social que enfrenta menosprecio epistémico.

Para ilustrar cómo las mujeres nos enfrentamos a la desestimación epistémica, Miranda Fricker alude




**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.

en *Injusticia epistémica. El poder y la ética del conocimiento* (2017), a la película *El talento de Mr. Ripley*, de Anthony Minghella (2000), donde tiene lugar el asesinato de Dickie, hijo de Herbert Greenleaf. Marge Sherwood, prometida del joven, sospecha que el responsable de su muerte es Tom Ripley, lo que expresa a su suegro, pero este no confía en ella y la menosprecia epistémicamente con las siguientes palabras: «Marge, existe la intuición femenina y luego están los hechos» (Minghella, 2000). Lo que evidencia esta situación es que Herbert silencia a la prometida de su hijo, "invocando –tal como asevera Fricker– de forma efectiva una concepción colectiva de la feminidad entendida como algo insuficientemente racional y en exceso intuitiva" (Fricker, 2017). Por ello, no la considera una agente confiable para emitir un testimonio que pueda devenir en un conocimiento valioso sobre el responsable del asesinato de Dickie.

Aquí aparece la práctica del *silencio* que, según el artículo *Injusticias epistémicas y crisis ambiental* (2021) de Siobhan Guerrero, consiste en desestimar, ignorar o poner en duda lo que las hablantes dicen a causa de su identidad (Guerrero, 2021). Así, Marge Sherwood es silenciada por ser mujer, puesto que su condición sexual la asocia con la emocionalidad y la falta de objetividad.

Ahora, es preciso destacar que silenciar es una práctica vinculada con la injusticia epistémica, pues se trata de un agravio cometido contra la credibilidad, la confianza y el autorreconocimiento de una persona como agente que transmite información ¿De qué modo se manifiesta la injusticia epistémica testimonial en el caso de las filósofas? Hemos identificado que es mediante su ausencia en las historias tradicionales de la filosofía, que se origina a partir de la estereotipación y la deslegitimación. En primera instancia, la estereotipación implica relacionar a una comunidad con una particularidad que la distingue de otra; en segunda instancia, la deslegitimación es la calificación negativa de las características asignadas a los grupos marginados: mujeres, indígenas, la comunidad LGBTQ+, las personas de la tercera edad, las infancias, etcétera (Torrealba, 2014). Los estereotipos de género, por ejemplo, determinan que los hombres son racionales, mientras que las mujeres son intuitivas.

La racionalidad posee una valoración positiva porque mediante ella producimos un conocimiento metódico y objetivo. Por el contrario, la intuición es deslegitimada como facultad cognoscitiva, puesto que nos provee de una comprensión inmediata de las cosas; además, se asocia con la subjetividad, por lo que no se fundamenta en la realidad de las cosas, sino en lo que pensamos de ellas. Fricker deja entrever, con la sentencia «Marge, existe la intuición femenina y luego están los hechos» (Minghella, 2000), que la intuición es catalogada como un presentimiento que no tiene validez.

Si la intuición se asocia con la feminidad y es deslegitimada como facultad cognoscitiva, el resultado es la omisión de las contribuciones filosóficas de las mujeres en la historia tradicional de la filosofía. Desde nuestra perspectiva, los historiadores estiman, de acuerdo a sus prejuicios, que en realidad no se trata de conocimientos verdaderos, sino de opiniones. De suerte que este es un caso de injusticia epistémica testimonial debido a que se le resta credibilidad a las filósofas simplemente por ser mujeres. Además, debemos mencionar que dicho acontecimiento reafirma que el ámbito epistémico ha sido masculinizado, es decir, se ha establecido que solamente los hombres poseen la capacidad de la razón, lo que se relaciona con la injusticia epistémica hermenéutica.

Fricker establece que la *injusticia hermenéutica* tiene lugar "cuando una brecha en los recursos de interpretación colectivos sitúa a alguien en una desventaja injusta en lo relativo a la comprensión de sus experiencias sociales" (2017). Esta brecha origina un

vacío hermenéutico, es decir, una falta de conceptos para nombrar, interpretar y comprender diversas experiencias. La causa de este tipo de injusticia epistémica es la marginación hermenéutica, entendida por Fricker como la participación desigual en la producción de los significados colectivos (2017), cuyo origen se encuentra en las relaciones desiguales de poder determinadas por los prejuicios identitarios que sesgan los recursos hermenéuticos (Fricker, 2017).

El grupo poderoso será aquel cuyas características coincidan con la identidad social impuesta por la imaginación colectiva que, por tanto, puede llevar a cabo la actividad interpretativa gracias a la existencia de conceptos que le dan sentido a las vivencias, acciones, emociones, etcétera, ya sean propias o ajenas. Ahora bien, la comunidad carente de poder es aquella que no se adecua a los prejuicios identitarios positivos, como por ejemplo ser un hombre blanco, de modo que es excluida de la actividad interpretativa y no posee los conceptos para interpretar adecuadamente sus experiencias sociales o estará sujeta a aquellos que no encajen bien con estas (Fricker, 2017).

En el sistema patriarcal son los hombres quienes conforman el grupo poderoso, ellos han dictaminado que, en el ámbito epistémico, el único conocimiento valioso es el que proviene de la razón, excluyendo los saberes que normalmente se asocian con las mujeres: tradicionales, empíricos, intuitivos, etcétera. Además, se han apropiado de la racionalidad, lo que les proporciona la autoridad epistémica para difundir sus ideas y establecerlas como las grandes verdades que, evidentemente, les permiten someter al sexo femenino. Las mujeres hemos sido excluidas de la creación de conceptos como racionalidad, intuición, conocimiento, por mencionar algunos. En consecuencia, ha sido difícil comprender la marginación epistémica a la que nos hemos enfrentado y, por ende, representa un reto denunciarla y tomar acciones para erradicarla.

Fanny del Río considera que la injusticia epistémica hermenéutica que padecen las filósofas es el resultado del "secuestro de antecedentes históricos y académicos, privando a las mujeres de modelos de mujeres a seguir [...] lo que les impidió verse, reconocerse, identificarse e interpretar su experiencia, conectando con otras mujeres, como agentes productoras de conocimiento" (2024). De modo que una mujer puede enfrentar dificultades para percibirse como filósofa porque no posee un respaldo histórico, pero también porque no tiene los recursos conceptuales para percibirse como un ser racional, puesto que hay numerosos libros, escritos por hombres, que niegan la racionalidad del sexo femenino[2].

Es importante destacar que la injusticia epistémica representa una pérdida de conocimiento porque en la tradición filosófica existe el vacío de las ideas generadas por las mujeres filósofas, cuya relevancia radica en que amplían el panorama de comprensión.

## EL CONCEPTO DE CONFIANZA EPISTÉMICA: UNA PROPUESTA DE REIVINDICACIÓN

Uno de los caracteres teleológicos de la humanidad es tanto la búsqueda como la obtención de un saber verdadero, mediante el uso de sus facultades cognoscitivas, que le ayude a comprender y estructurar el mundo. En el ámbito filosófico, existen diversos modelos epistemológicos cuyo propósito es explicar el modo en que se origina el conocimiento, cómo se valida y cuál es su naturaleza. Uno de los aspectos que comparten algunos de estos modelos epistémicos es la *confianza epistémica*, que consiste en encontrarse en un estado de certidumbre respecto a las creencias propias.

La confianza epistémica aparece entonces como condición de la creencia cuando las personas dan por sentada la certeza de aquello en lo que creen. Aquí, la justificación está vinculada con las facultades cognoscitivas, como los sentidos, la memoria o la razón, las cuales suelen trabajar en conjunto para elaborar razonamientos.

De acuerdo con Linda Zagzebski, "la confianza epistémica en uno mismo tiene dos partes: (a) doy por supuesta la fiabilidad general de mis facultades, y (b) de hecho confío en mis facultades" (Zagzebski, 2009). El estado de certidumbre respecto a nuestras facultades –es decir, el estado de confianza

absoluta en la creencia de que a través de ellas podemos conocer– implica que nos reconocemos como agentes capaces de producir un conocimiento verdadero. Entonces, la circularidad de la fiabilidad epistémica entre las personas supone la idea de igualdad, ya que consideramos que ellas también poseen facultades cognoscitivas y, por ende, que son sujetas de conocimiento; es decir, que tienen la capacidad de conocer, transmitir conocimientos y dar sentido a sus experiencias sociales.

Así, ser sujeta o sujeto de conocimiento es una cualidad esencial de la dignidad humana, puesto que "es una vertiente de esa capacidad polifacética tan importante en los seres humanos, a saber: la capacidad para la razón" (Fricker, 2017). Sin embargo, debemos notar que para ser agentes cognoscentes no solo es preciso poseer confianza epistémica –de la cual dependen virtudes intelectuales como la valentía intelectual, cuya importancia reside en la voluntad, perseverancia y determinación para generar, verificar o defender creencias e hipótesis con miras a transmitir un conocimiento verdadero– sino también fortalecer, a través de prácticas y diálogos interdisciplinarios, una tradición de pensamiento en clave femenina, resistente tanto en sus tejidos identitarios-colectivos como históricos.

## CONCLUSIÓN

Hemos propuesto que analizar la injusticia epistémica como horizonte de la omisión en la historia de la filosofía a la que se han enfrentado las filósofas (es decir, a la lesión de su estatus de sujetas de conocimiento) nos puede conducir hacia la legitimación y visibilización exitosa de la herencia de las mujeres a la tradición filosófica. A nuestro juicio, esta injusticiase compone de conceptos como injusticia testimonial, injusticia hermenéutica, estereotipación, deslegitimación, que son algunos de los que mencionamos aquí. Sin embargo, también vale la pena estudiar conceptos como invisibilización, violencia simbólica, silenciamiento, extractivismo epistémico, masculinización de la ciencia, autoridad epistémica, injusticia testimonial anticipada y cosificación epistémica. Estudio que pondrá de manifiesto que la ausencia de referentes femeninas en la historia de la filosofía se ha normalizado debido al sexismo que impera en nuestra disciplina.

## NOTAS

[1] Incluye los nombres de cuarenta y seis filósofas, clasificadas por época: Antigüedad (6), Edad Media (5), Renacimiento (4), siglo XVII (4), Ilustración (5), Romanticismo (4), siglo XIX (8) y siglo XX (10).

[2] Por ejemplo: Schopenhauer, Arthur. *El amor, las mujeres y la muerte*. Traducido por A. López White. elaleph.com, 2000. http://juango.es/files/El-amor,-las-mujeres-y-la-muerte.pdf; Weininger, Otto. *Sexo y carácter*. Traducido por Felipe Jiménez de Asúa. Buenos Aires: Losada, 1942. Citado en Castellanos, Rosario. *Sobre cultura femenina*. México: Fondo de Cultura Económica, 2005; Moebius, J. P. *La inferioridad mental de la mujer (La deficiencia mental fisiológica de la mujer)*. Traducido por Carmen de Burgos. Valencia: F. Sempere y Compañía, s/a. Citado en Castellanos, Rosario. *Sobre cultura femenina*. México: Fondo de Cultura Económica, 2005.

## REFERENCIAS


Bastidas F y Torrealba M (2014). Definición y desarrollo del concepto "proceso de invisibilización" para el análisis social. Una aplicación preliminar a algunos casos de la sociedad venezolana. *Espacio Abierto* 23:515-533. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12232258007.

Del Río F (2022). *Hacia una crítica ética de la historia de la filosofía en México desde una perspectiva de género*. México: Nun.

Fricker M (2021). Conceptos de injusticia epistémica en evolución. Las torres de Lucca. *Revista Internacional de Filosofía P7olítica* 10:97-103. Recuperado de: https://revistas.ucm.es/index.php/LTDL/article/view/76466/4564456558120.

Fricker M (2017). *Injusticia epistémica. El poder y la ética del conocimiento*. Barcelona: Herder.

Guerrero S (2021). Injusticias epistémicas y crisis ambiental. *Iztapalapa Revista de Ciencias Sociales y Humanidades* 90:179-204. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-91762021000100179.

Velasco LA (2023). Filósofas en México entre el siglo XX y el XXI. Trayectorias, relevancia disciplinar e importancia social. CUAIEED/FES Acatlán-UNAM, SUAyED-UNAM. Unidades de Apoyo para el Aprendizaje. Recuperado de: https://repositorio-uapa.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/2133/mod_resource/content/4/contenido/index.html.



***Verónica Ramírez Cárdenas***
***Universidad Autónoma de Zacatecas***
***Cintia C. Robles Luján***
***Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla***
***cintiacandelaria.robles@upaep.mx***

**© Rafael Pareja.** *Generaciones y sonrisas*. Vietnam, 2026.





