



SECRETARÍA ACADÉMICA

Coordinación de Investigación y Posgrados

LUCIDUM CIENCIA

Revista de **Divulgación Multidisciplinaria**
del Centro Universitario de la Costa

*Ciencias Exactas • Medicina y Salud • Humanidades y Conducta
Tecnología • Ciencias Sociales y Económicas
Ciencias Naturales y Agropecuarias • Ciencias de la Tierra y de la Atmósfera*



DIRECTORIO
UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA

Dra. Karla Alejandrina Planter Pérez. *Rectora General*
Dr. Héctor Raúl Solís Gadea. *Vicerrector Ejecutivo*
Dr. Jaime Federico Andrade Villanueva. *Vicerrector Adjunto Académico y de Investigación*
Mtra. María Guadalupe Cid Escobedo. *Vicerrectora Adjunta Administrativa*
Mtro. César Antonio Barba Delgadillo. *Secretario General*
Dra. María Esther Avelar Álvarez. *Rectora del CUCosta*
Dra. L. Rebeca Mateos Morfín. *Secretaria Académica*
Mtra. María del Consuelo Delgado González. *Secretaria Administrativa*
Dr. Lino Francisco Jacobo Gómez Chávez. *Coordinador de Investigación y Posgrados*

Editor en Jefe

Dr. Fernando Vega Villasante

Consejo Editorial

Dra. María Esther Avelar Álvarez
Dra. L. Rebeca Mateos Morfín
Mtra. María del Consuelo Delgado González
Dr. José Carlos Cervantes Ríos
Dr. Fabio Germán Cupul Magaña
Dr. Lino Francisco Jacobo Gómez Chávez
Dr. Fernando Vega Villasante

Editores Asociados

Dra. Liza Danielle Kelly Gutiérrez. *Biología y Química*
Dra. Stella Maris Arnaiz Burne. *Turismo y Desarrollo Sustentable*
Dr. Jesús Cabral Araiza. *Ciencias Médicas y de la Salud*
Dr. Remberto Castro Castañeda. *Ciencias de la Conducta*
Dr. Luis Javier Plata Rosas. *Físico-Matemáticas y Ciencias de la Tierra*
Dra. Gabriela Andrea Scartascini Spadaro. *Educación y Humanidades*
Dr. Marco Antonio Delgadillo Guerrero. *Ciencias Sociales y Económicas*
Dr. Saúl Rogelio Guerrero Galván. *Biotechnología y Ciencias Agropecuarias*
Dr. Jorge Ignacio Chavoya Gama. *Ingenierías y Arquitectura*
Dra. Olimpia Chong Carrillo. *Multidisciplinaria*



REGISTRO DE
ARTÍCULOS

fvillasante@
cuc.udg.mx

Cuidado de la edición

Laura Biurcos Hernández

Diseño e ilustración de portada

Mtro. Francisco Gerardo Herrera Segoviano

LUCIDUM CIENCIA. Año 4, Núm. 8, julio-diciembre 2025, es una publicación semestral, editada por la Universidad de Guadalajara, a través de la Coordinación de Investigación y Posgrados, por la Secretaría Académica, del CUCosta. Av. Universidad #203, delegación Ixtapa, C.P. 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México; Tel: 322 2262200, <http://www.cuc.udg.mx/es/revista-lucidum-ciencia>, fvillasante@cuc.udg.mx. Editor responsable: Fernando Vega-Villasante. Reserva de derechos al uso exclusivo del título 04-2023-021411551400-102, ISSN: 2992-6807, otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Coordinación de Investigación y Posgrados, del CUCosta. Av. Universidad #203, delegación Ixtapa, C.P. 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México, Fernando Vega-Villasante. Fecha de la última modificación 15 de noviembre de 2025.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad de Guadalajara.

Publicación indexada en: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, Latindex.

Contenido

Editorial	5
El mango: un acercamiento a su presencia en la Bahía de Banderas	
Eduardo Gómez Encarnación	7
<i>Eating-sea/Comiendo-mar; el arte como testigo de la relación humana con la naturaleza</i>	
Geovanni José Orozco Sánchez y Natalia Balzaretto Merino	16
Modelos que no son de pasarela	
José Leonardo Ledea-Rodríguez, María Fernanda Jiménez y Juan Carlos González-Aguirre	28
Ciencia con conciencia: el corazón de las 3Rs	
Kevin Omar Ponce Palomera, Zinnia Edith Aguirre García, Saúl Rogelio Guerrero Galván y Daniel Badillo Zapata	37
Apuntes sobre mi experiencia con <i>El efecto SUAM. Teoría y práctica de la narrativa de la vida feliz en la tercera edad</i> . César Gilabert, Gabriela Scartascini y Luis Mario Fernández. (2024) Universidad de Guadalajara	
Flor Micaela Ramírez Leyva	43
La creación artístico-literaria infantil, un sendero de luz	
Ismary Marrero Rabí y Leyris Guerrero Mora	48
Rebeldías de la evolución	
Alfonso Silva Lee	54

Entre nidos y sombras: el conflicto ecológico entre mapaches y tortugas marinas	
Juan Diego Galavíz Parada, José Antonio Ramírez G., Carlos A. Hernández y Odín Benítez Luna	69
Entre micelios y mercados: los hongos <i>Aspergillus niger</i> y <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	
María Isabel Soriano Mayo, Gustavo Eduardo Cabrera Cozmes y Luis Eduardo Ruiz González	72
La mariposa monarca: el espíritu alado de los Purépechas	
Victor Manuel Almaraz Valle, José Manuel Vázquez Navarro, Manuel Alejandro Tejeda Reyes y Jaime Alfredo Urzua Gutierrez	82
Bajo la sombra del lobo: lo que debes saber sobre el lupus	
Cecilia Nalibeth Cruz Arreola, Liza D. Kelly Gutiérrez, Martín A. Aréchiga Palomera y Fernando Vega-Villasante	87
La bioinformática en el reúso de medicamentos contra el cáncer	
Anne Santerre, Sara Elisa Herrera Rodríguez, Flor Yohana Flores Hernández, María del Rosario Huizar López, Josefina Casas Solís y Ahtziri Socorro Carranza Aranda	90
Plantas medicinales y nanotecnología: una alianza contra las bacterias patógenas	
Jorge Luis Torres López y Sergio Gómez Cornelio	98

EDITORIAL

Cuatro años de ciencia que ilumina

Hace cuatro años, en medio de un panorama desafiante, nació *LUCIDUM CIENCIA* con una convicción luminosa: acercar el conocimiento científico, artístico y humanístico a la sociedad de una manera clara, creativa y bella. Desde entonces, cada número ha sido una invitación a mirar el mundo con curiosidad, sentido crítico y sensibilidad.

Hoy, con la publicación de nuestro número 8, celebramos cuatro años ininterrumpidos de trabajo editorial, y al mismo tiempo damos la bienvenida a una nueva etapa en la historia del Centro Universitario de la Costa (CUCOSTA), marcada por el inicio de la gestión de su primera mujer rectora. Este hecho no solo representa un cambio institucional, sino un paso significativo hacia la equidad y la consolidación de una comunidad universitaria más diversa e incluyente, en la que el liderazgo femenino continúa abriendo caminos en la ciencia, la educación y la cultura.

Este número de *LUCIDUM CIENCIA* refleja ese espíritu de continuidad y transformación. En sus páginas confluyen la historia, la biología, la educación, la bioética, la tecnología y el arte. Se explora la presencia del mango en la historia de la Bahía de Banderas, la interacción ecológica entre mapaches y tortugas marinas, la mirada artística sobre los ecosistemas costeros, los modelos matemáticos que explican la realidad, y los nuevos horizontes de la ciencia aplicada, como la bioinformática en el reúso de medicamentos o la nanotecnología verde derivada de plantas medicinales.

Cada artículo reafirma que la ciencia no es solo acumulación de datos, sino una manera de comprendernos y de cuidar el mundo que habitamos. Durante estos cuatro años, *LUCIDUM CIENCIA* ha consoli-

dado un espacio donde investigadores, docentes, estudiantes y artistas encuentran un lugar para compartir sus ideas, difundir sus hallazgos y dialogar con la sociedad.

Agradecemos a quienes han acompañado este camino –autores, revisores, diseñadores, colaboradores y lectores– por mantener viva esta llama. Iniciamos un nuevo ciclo editorial y universitario con la certeza de que la divulgación científica seguirá siendo un pilar del CUCOSTA y una fuente de orgullo para nuestra comunidad.

Porque la ciencia, cuando se comparte, se vuelve luz.

Dr. Fernando Vega-Villasante

Editor en Jefe

El mango: un acercamiento a su presencia en la Bahía de Banderas

Eduardo Gómez Encarnación

RESUMEN. El mango, deliciosa y ampliamente conocida fruta, cuyo centro de origen geográfico se encuentra en Asia, ha sido cultivado por los humanos desde hace cuatro mil a seis mil años. Los científicos llaman *Mangifera indica* a la especie cultivada más importante a nivel mundial. Se sabe que llegó a lo que hoy es México en 1779. En esta colaboración, se ofrecen datos y testimonios que aportan evidencias significativas sobre la presencia del mango, en lo que hoy se denomina como Bahía de Banderas (área compartida por los estados de Jalisco y Nayarit), desde mediado del siglo XIX. Además, se comenta sobre los inicios, auge y colapso de su cultivo en la región.

Palabras clave: crónica histórica, *Mangifera indica*, Puerto Vallarta, Valle de Banderas.

PRIMEROS DATOS

Originario de la India y China, el mango fue traído por los españoles a México hacia 1779.

El mango se introdujo de las Filipinas como parte de la Ruta de Comercio del Galeón entre Manila y Acapulco que trajo la porcelana, seda, marfil y especias a cambio de la plata del Nuevo Mundo.

María Ahumada de Gómez, en su «Semblanza de Colima en la década de 1850», en una visión que trata sobre la estancia de Juárez en esta ciudad durante la persecución de los conservadores, describe:

La ciudad es una población que duerme en las faldas de sus volcanes, dentro de un bosque de palmeras, plátanos y camichines. Al llegar a la población, ésta se ve de tal manera envuelta entre un hermoso verdor, como si fuera una hermosa huerta, los mangos y los verdes tamarindos le dan el esplendor de sus tonos verdi-negros, y a través de esta vegetación, se ven apenas las blancas casas de la ciudad, escuchándose muy lejos el ruido que en ellas hacen los hombres.

Recibido: 27/06/2025

Aceptado: 18/08/2025

Publicado: 19/08/2025

Cronista del Municipio de Bahía de Banderas, Nayarit. eelomas@hotmail.com

En octubre de 1865, el Teniente de Alcalde de Valle de Banderas, Simón de Rojas, manifestaba en un escrito su urgencia de salir a Manzanillo y volver el «mes que entra», lo que refleja una navegación regular de nuestra región de Bahía de Banderas a Colima. Pero, es hasta 1886, cuando Las Peñas hoy Puerto Vallarta, aparece dentro del itinerario formal de los vapores que hacían su recorrido San Blas-Chamela-Manzanillo. Ante la casi imposibilidad de que el mango se haya extendido naturalmente, es probable que las primeras plantas hayan llegado por este medio procedentes de Colima; aunque, también es probable que llegaran en el Galeón de Manila que, en muchas ocasiones, hizo escala en la Bahía de Banderas.

EL ZAPATÓN

El poblado del Zapatón estuvo cerca del Ojo de Agua, que corresponde al hoy ejido de Santa Cruz de Quelitán, del municipio de Puerto Vallarta, Jalisco. Gabriel Pulido Sendis lo ubica tempranamente como «lugar donde pasaba la temporada de aguas Don Juan Fernández de Híjar, quien estableció una pesquería de atún en el rancho de Peñitas». Fue una de las tantas «suertes de cacao» que mencionan las mercedes y títulos de propiedad durante la Colonia, único lugar en la región donde se cultivó caña de azúcar y se fincó trapiche para su molienda. Como casi todas las tierras de la región, hacia 1852 el Zapatón formaba parte de la gran propiedad de El Colesio. Por su importancia, El Zapatón compitió con el pueblo de Valle de Banderas por el asentamiento del sacerdote que debería atender a la feligresía de la región. Hacia 1875, el obispado de Guadalajara orde-

nó iniciar la construcción de iglesia, sacristía, atrio, casa cural y alguna otra pieza para guardar lo que se ofreciera, terreno para escuela de ambos sexos y cementerio. En el pequeño valle del Ojo de Agua se conservó la huerta de cacao virreinal y se plantó con mangos y tamarindos. Actualmente, después de 150 años, se conservan algunos tamarindos y «mangos caseros o corrientes».

LAS PEÑAS

Hacia 1878, Las Peñas era una pequeña población donde llegaban frecuentemente los barcos que navegaban entre San Blas y Manzanillo. Ese año, Don Porfirio Díaz difundió el contrato para la construcción de una vía férrea que uniera las ciudades de Lagos y Guadalajara con las costas del Pacífico. En 1869 el Congreso del Estado de Jalisco, había propuesto la apertura de Las Peñas como puerto de altura y cabotaje y las posibilidades de que la vía férrea terminara en este lugar fueron altas. El proyecto despertó gran interés por la adquisición de tierras cercanas a la vía y atrajo a varios inversionistas de la época. Las Peñas, que en 1879 tenía solo 25 o 30 casas y 100 habitantes, seis años después aumentó a 250 casas, 800 almas y regular comercio.

Las tierras donde se asentaba el poblado pertenecían a la Unión en Cuale, pero se sabe que Don Eulalio Villaseñor, venido de Tecolotlán, tempranamente sembraba hortalizas y estableció algunas huertas donde hoy se asienta la colonia Emiliano Zapata para satisfacer las necesidades de la creciente población. Según se recuerda, una acequia con bocatoma en Las Canoas, conducía el agua por lo más alto de la planicie regando jícamas, camotes, papas,

hortalizas y algunas huertas de aguacates y mangos.

Gabriel Pulido Sendis, en su obra *El Real y Minas de San Sebastián* registra un cuadro de frutos del noveno Cantón que aparece en una estadística hecha por Mariano Bárcenas en 1885 y, entre las manzanas chatas, los plátanos chinos, duraznos y naranjas, se anota el delicioso mango casero. Lo anterior hace suponer que, para entonces, los mangos no solo se habían extendido por el Occidente de México, también se encontraban ya en su comercio regular.

EL VALLE DE BANDERAS

Hasta 1880 el Valle de Banderas fue una población sin orden ni concierto; la traza urbana actual de Valle de Banderas fue obra del «porfiriato». Es probable que la alineación de calles se haya hecho entre 1885 y 1897, durante el mandato del General Leopoldo Romano, primer Jefe Político del Territorio de Tepic. Los mayores recuerdan que, frente a la plaza del poblado, sobrevivieron un tamarindo añejo y un viejo mango, plantados años antes de la alineación de las calles.

En terrenos de El Texcalame, adquiridos por el señor José Félix Ponce en 1919, se sabe que hubo huertas de mango, que estuvieron en producción hasta 1960. Bonifacio Peña, recuerda que los señores Jesús Villaseñor y Filomeno López, hacia 1950 tenían en Sayulita, una huerta con cocos, plátanos y mangos. Se recuerda la existencia de mangos en El Tecomate de Isabel Arreola, y El Colomo de Fermín Maisterrena. Al parecer, los mangos al norte del río Ameca se extendieron con la venta de tierras que hizo la compañía deslindadora Ga-



Figura 1. Generada con la IA ChatGPT.

you a finales del siglo XIX, y el nacimiento de las haciendas al norte del río Ameca en el Valle de Banderas.

PUERTO VALLARTA

En el *Reporte de las propiedades de la Unión de Cuale*, elaborado por Charles Hoyle en 1919, nos dice de la región:

La tierra es extremadamente fértil e indudablemente hasta gran profundidad, está cubierta en su mayor parte por bosques tropicales, de los cuales, las palmeras de coco ocupan un gran porcentaje. Hasta hace pocos años había permanecido prácticamente intacto, pero recientemente los agricultores han despertado ante esta oportunidad y se han dirigido hacia el campo, limpiando pequeños lotes en el valle que han probado que podría ser uno de los futuros graneros

de México. Frutas tropicales de todas como naranjas, limones, mangos, etc.; crecen libremente, mientras que el tabaco, frijol y el maíz producen cosechas básicas de gran valor en el mercado.

Javier Martínez, recuerda que, todavía en 1970, los habitantes de San Andrés, El Paraíso, El Aguacate y otras rancherías, asistían a Zapotán, camino de la costa a Mascota, donde había una vieja huerta de limones, aguacates y mangos, plantada a principios de siglo. Las referencias anteriores hacen suponer que los mangos llegaron al corazón de la zona minera con la bonanza de la Unión en Cuale, a mediados del siglo XIX.

En 1905, la Tropical Fruit Company de San Francisco, California, rentó a la Unión en Cuale 400 hectáreas en la margen sur del río Pitillal, en las proximidades de Las Peñas y estableció una plantación de plátano. Todo progresaba favorablemente hasta que, en 1910, bandas de revolucionarios arrasaron la propiedad y destruyeron los platanares. Es probable que para esta plantación se haya construido un sistema de riego con bocatoma en la ranchería

de «Playa Grande», para aprovechar las aguas del río Pitillal.

En el *Estudio sobre el Puerto de Las Peñas*, elaborado por Leoncio Blanco en 1911, se dice

los productos de esta comarca son notables por su excelente calidad y su abundancia. Aquí se levantan tres cosechas de maíz al año; se produce frijol, arroz, caña de azúcar, tabaco, camote, sandía, melón y toda clase de legumbre, así como magníficos forrajes. Hay enormes cantidades de limoneros, naranjos, aguacates, chirimoyos, mangos, cocoteros, plátanos, palma de coquito aceitoso, capomos, coapinoles, chitleños y palmas para tejer.

Doña Catalina Montes de Oca refiere que

...por el año de 1909, aproximadamente, había venido de Fresno, California, a avendarse a este lugar un norteamericano apellidado Raix, el cual se había hecho dueño de todas las parcelas que están de este lado del río del Pitillal. Era una extensión muy grande de tierra. Con su trabajo la había hecho muy productivas. Traía de Estados Unidos semillas de sandía, melón y fresa, de muy buena calidad y se daban unos verdaderos ejemplares de estos frutos. Además cultivaba maíz y frijol. Por ser Raix de la misma nacionalidad que Alejandro Hidell, habían hecho muy buena amistad, pero inesperadamente, mister Raix, como lo llamaban, murió de un ataque al corazón en el año de 1918. El Sr. Hedell, conociendo su procedencia y teniendo razón de sus familiares, les dio aviso de lo ocurrido y les informó al mismo tiempo,



Figura 2. Generada con la IA ChatGPT.

de las propiedades que éste tenía. Con gran sorpresa recibió la noticia de que no interesaban a nadie por lo que autorizaban a que se quedara con todo aquello. Alejandro Hidell, en la misma forma que su amigo, siguió cultivando las tierras.

En 1923, estas tierras con el nombre de «finca rústica llamada El Pitillal» fueron divididas y registradas la fracción oriente a nombre de Adolfo Godínez y, la occidental, a nombre de Alfonso Bernal. La división entre ambas fracciones trazó el «camino viejo a Pitillal», hoy avenida Francisco Villa. Las tierras se convirtieron en productivas huertas de mangos, limoneros, naranjos, aguacates y otros frutales y todavía en los años sesenta estuvieron regadas por las acequias trazadas a principios de siglo por la Cuyamel Fruit Company.

En 1925, Juan Saucedo, propietario de Coapinole y Pitillal, vendió a la Montgomery y Compañía, una fracción de 1,200 hectáreas trazando una línea desde la Boca Negra a Las Mojoneras, excluyendo de esta venta las salinas del Estero El Salado. Tres años después, Saucedo vendió a Don Antonio Güereña, comerciante de Puerto Vallarta, la porción restante que incluía las salinas de El Salado. En su propiedad, ubicada a la margen derecha del río Pitillal, los Güereña plantaron una huerta de mangos llamada «Las Delicias».

El 11 de enero de 1939, el Diario Oficial de la Federación publicó la siguiente solicitud de aprovechamiento de aguas del Cuale:

Solicitud presentada ante la Secretaría de Agricultura y Fomento por el C. Diego Betancourt V.; para utilizar las aguas mansas del río Cuale, que existe en el Municipio

de Puerto Vallarta, del Estado de Jalisco, en usos domésticos y servicios públicos, la cual se manda publicar para que las personas que se crean afectadas se presenten a oponerse dentro del plazo legal.

C. Secretario de Agricultura y Fomento: el suscrito Diego Betancourt V., Síndico del H. Ayuntamiento de este lugar, mexicano por nacimiento, vecino de Puerto Vallarta, Municipio del mismo nombre, del Estado de Jalisco, que gestiona a nombre del H. Ayuntamiento de este puerto, recibiendo notificaciones en la casa número 48 de la calle Juárez, de esta población, ante usted respetuosamente expone:

Que desea concesión de derechos para utilizar las aguas mansas del río Cuale que existe en el Municipio de Puerto Vallarta, del Estado de Jalisco, en la cantidad de 16 litros por segundo, durante 365 días en el año, comprendidos del mes de enero al mes de diciembre. A razón de 24 horas diarias, hasta completar un volumen anual de 504,576 metros cúbicos para usos domésticos y servicios públicos.

Las aguas se tomarán en la margen derecha. En el lugar denominado El Palito Verde, que dista aproximadamente 620 metros aguas arriba de la desembocadura del río Cuale.

Se trata de abastecer de agua potable a la población de Puerto Vallarta, con 4,000 mil habitantes, y regar dos jardines y dos lotes con una superficie total de 3 hectáreas.

Declaro no estar afecto al impuesto sobre la renta, por carecer de bienes gravables.

Acompaño los siguientes documentos: oficio número 583, fecha 31 de julio úl-

timo, del Ayuntamiento local; base del proyecto de conducción de agua, la parte conducente.

Protesto a usted mis respetos y atenta consideración.

Puerto Vallarta, Jal. a 12 de agosto de 1938.- D. Betancourt V.- Rúbrica.

El riego solicitado fue para unas cuantas parcelas en la ribera sur, donde hoy se asienta la colonia Emiliano Zapata, al parecer los «dos jardines» de Don Diego Betancourt. Según se recuerda, la bocatoma se encontraba en el punto conocido como Las Canoas. El agua se seguía por una acequia de tierra que bordeaba por lo más alto de la planicie regando jícamas, camotes, papas, hortalizas y algunas huertas de aguacates y mangos. La acequia desaguaba cerca de la playa de los muertos. En los foros de «Revivir la Historia» realizados por el Departamento de Cultura de Puerto Vallarta en el

año 2000, Don Irineo Ruiz, palabras más, palabras menos, expresaba:

Había una acequia de agua que se tomaba en Las Canoas y se venía regando huertas y siembras para desembocar en ‘Los Muertos’. Ya casi para llegar a la playa, Cloro Palacios se las ideó para llevar una ‘paja de agua’ hasta su negocio donde puso una regadera para lavarse el agua de mar. Cloro tenía una ramada donde vendía raicilla, cervicitas y había música para bailar; a nosotros nos gustaba venir porque ahí veíamos a las primeras ‘gringas’ bañarse encueradas en la regadera.

IXTAPA Y LA MONTGOMERY

Hacia 1929, donde hoy se encuentra el poblado de Ixtapa (Figura 3) en el municipio de Puerto Vallarta, Jalisco, la Compañía Montgo-



Figura 3. Huerta de mangos y cocoteros. Ixtapa, municipio de Puerto Vallarta, Jalisco, 1948. Foto cedida por el autor.

mery, productora y exportadora de plátanos, construyó una colonia con casas para funcionarios y empleados especializados. Las casas fueron armadas con madera estofada, traída de los Estados Unidos, resistente a la polilla, al comején y al tiempo mismo. Se levantaron sobre pilotes de hormigón y se techaron con lámina de cinc, cubierta con tejas de barro. Contaban con «agua entubada», drenaje, electricidad y un circuito de teléfono local. Fueron confortables, estuvieron orientadas para aprovechar el fresco de la brisa y proteger a sus habitantes del sol tropical. En sus calles se plantaron naranjos, toronjos, mangos, aguacates y coco de agua. Las variedades hasta entonces conocidas fueron: casero o criollo, manila, manillilla, piña y perico. Es de observar que, afuera de los talleres mecánicos, en 1958 sobrevivía un árbol añoso de «mango corriente» plantado quizá a principios del siglo xx.

En el Diario Oficial de la Federación del 14 de junio de 1958, se lee que el señor Damián García Fregoso solicitó una concesión para utilizar las aguas mansas y broncas del arroyo Pitillal, para regar 16 hectáreas de la propiedad conocida como El Param, en la desembocadura de este río, donde se regaría ajonjolí, mangos y palmas de coco de agua.

LOS MANGOS COMERCIALES

En 1970, el Banco Nacional de Crédito Ejidal anunció un programa de incremento a la horticultura y fruticultura en el estado de Nayarit, que en nuestra región se vio reforzado durante el sexenio de Luis Echeverría con la implementación del «Plan Maestro» del Fideicomiso Bahía de Banderas. Dos años después, desde Aguamilpa a San Vicente en Nayarit, se



Figura 4. Generada con la IA ChatGPT.

iniciaron las plantaciones de sandía, chile gordo, pepino y melón, que salían a los mercados nacionales por la recién estrenada Carretera Federal 200.

De acuerdo con el testimonio de Armando García, productor de mango de Valle de Banderas, en 1975 el Banco Nacional de Crédito Rural otorgó crédito para la plantación de mango, guanábana y tamarindo. Los viveros se establecieron en San José del Valle. Las primeras plantaciones de «mangos petacones» se iniciaron con 68 hectáreas en San José del Valle y 70 hectáreas en El Porvenir, de las variedades Heiden, Tommy y Queen. Los tamarindos y guanábanos se plantaron en el predio Las Guásimas del ejido de Valle de Banderas. Al sur del río Ameca se plantaron «mangos petacones» en los ejidos de Las Palmas, El Colesio, Ixtapa, Coapinole y Puerto Vallarta, Jalisco.

Cabe mencionar que, en el hoy municipio de Bahía de Banderas, en 1976 la Unión Ejidal promovió pequeñas industrias y agroindustrias con el objetivo de utilizar y transformar algunas materias primas de la región. Ese año, la Compañía Nacional de Subsistencias Populares o Conasupo, estableció en San Francisco

una planta agroindustrial que, en su primera etapa, produciría embutidos de carnes frías, aceite de coco para una fábrica de jabón, frutas y legumbres enlatadas, procesaría lácteos y alimentos balanceados para el ganado, embutiría carnes, pescados y mariscos y fabricaría cajas de madera para empaclar productos. La empacadora de frutas y legumbres procesaba mango, piña, guayaba y chiles. De los productos mencionados, el mango y la piña se producían ya en la región.

Respecto a las grandes huertas, durante los primeros años, la producción de mango buscó salida a los mercados de Tepic y Guadalajara. A finales de 1980, la fruta de San Clemente, Bahía de Banderas, llamó la atención de los exportadores de la Unión de Productores de Hortalizas, que en la región se habían organizado alrededor del cultivo de sandía. Fue el canadiense Ben London quien improvisó el primer lavado de mango en La Noria, terrenos de Efrén Curley, en San José del Valle. Así nació Mangomex, la primera empacadora que llevó mangos a Canadá y a los Estados Unidos. Las variedades iniciales fueron Heiden y Tommy. Otro exportador que se recuerda, fue un regiomontano de apellido Cavazos, quien fue el primero en comprar mango en el campo para llevarlo a empaclar a Montemorelos, Nuevo León. De ahí, era enviado a los Estados Unidos, registrando su procedencia. En esos años, la fruta de San Clemente fue premiada en California por ser el mejor Tommy de la República Mexicana.

Motivados por el éxito del mango, los pequeños propietarios plantaron medianas y grandes extensiones del frutal. Hacia 1990, las huertas de mango se habían ensanchado hasta alcanzar 2,400 hectáreas; las empacadoras y centros de acopio sumaban más de una docena

y los productores empezaban a resentir los bajos precios de la sobreproducción (Extracto de entrevista realizada a Armando García Robles en el año 2015).

En 2004, la presencia de la «cochinilla rosada» y la «escama blanca» (insectos hemípteros, conocidos como chinches y consideradas plagas que causan importantes pérdidas económicas a los agricultores), agravaron la situación de la fruticultura. El fracaso de las empacadoras de frutas y hortalizas se hizo visible; muchas plantaciones de mango infectadas se echaron abajo y los terrenos fueron vendidos a los desarrolladores inmobiliarios. El cultivo se redujo a 890 hectáreas de huertas envejecidas, con un rendimiento promedio de 20 toneladas por hectárea. En 2017 se contaba con 10 centros de acopio de donde la fruta era enviada a las procesadoras de jugos de diversas partes del país. «Empacadora del Valle», en el poblado de Valle de Banderas, sobrevive a seis de las empacadoras organizadas de los buenos tiempos, con una exportación a los Estados Unidos calculada en un 5% de la producción.

El mango, como cultivo comercial en la región, está próximo a desaparecer. Quizás nos quedemos con algunos árboles en los patios como una fruta de estación; o los veamos florecer entre almendros, tabachines y palmeras en los jardines y plazas de los pueblos, como tal vez lo fue en tiempos pasados.

LITERATURA RELEVANTE

- Blanco, R. L. (1919). *Estudios sobre Las Peñas*. Sociedad de Geografía y Estadística de Jalisco.
- Gómez Encarnación, E. (2003). *Ixtapa entre el ensueño y el insomnio: La sociedad Mercan-*

- til Montgomery & Cía. *En la región de Bahía de Banderas, 1924-1935*. H. Ayuntamiento Constitucional de Puerto Vallarta, Jal. 2001-2003.
- Gómez Encarnación, E. (2024). *Bahía de Banderas, Nayarit: perspectiva histórica*. Universidad de Guadalajara.
- Gómez de Ixtapa. (2003). *Eco de caracoles*. Aztatlán Ediciones.
- Montes de Oca de Contreras, C. (2001). *Puerto Vallarta en mis recuerdos*. Universidad de Guadalajara.
- Pulido Sendis, G. (1999). *El Real de Minas de San Sebastián*. Editado por el autor.

Eating-sea/Comiendo-mar; el arte como testigo de la relación humana con la naturaleza

Geovanni José Orozco Sánchez¹ y
Natalia Balzaretto Merino²

RESUMEN. Gracias a su belleza escénica, Puerto Vallarta ha experimentado una serie de transformaciones en su paisaje costero. *Eating-sea*, por medio de la obra artística busca exponer y representar, la constante y repetida interacción que el ser humano ha ejercido sobre los ecosistemas costeros de Puerto Vallarta. La pieza, a través de una escultura/alebrije, simboliza la huella humana en la región. Toma la técnica artesanal de papel maché y esculturalmente fusiona tres especies representativas del puerto; el pelícano, cocodrilo y el caballito de mar (este último en referencia a la famosa escultura Vallartense). La superficie, se cubrió con grabados y fotografías en técnica transfer, en alusión a la modificación diaria de los espacios naturales ejercidos por el ser humano. A través de la obra busca ampliar los

diálogos reflexivos sobre cómo, poco a poco la humanidad se va «comiendo» los ecosistemas, reduciendo espacios para su conservación y protección.

Palabras clave: alebrije, obra artística, ecosistemas costeros, Puerto Vallarta, huella humana.

INTRODUCCIÓN

En las costas del Pacífico mexicano, dentro de la Bahía de Banderas, se encuentra Puerto Vallarta (zona centro), bahía conformada por otros dos municipios; Cabo Corrientes (zona sur) y Bahía de Banderas (zona norte). Debido a su ubicación geográfica, al situarse en una zona de transición entre la Sierra Madre Occidental y el océano Pacífico, junto con su clima

¹ Estudiante del Departamento de Artes, Educación y Humanidades, División de Estudios Sociales y Económicos, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. geovanni.orocho3253@alumnos.udg.mx

² Profesora del Departamento de Artes, Educación y Humanidades, División de Estudios Sociales y Económicos, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. natalia.balzaretto8845@academicos.udg.mx

Recibido: 11/08/2025

Aceptado: 25/08/2025

Publicado: 27/08/2025

semicálido subhúmedo, convierte a la región en un lugar ideal donde se encuentran una amplia variedad de ecosistemas. Características que le otorgan una belleza escénica y paisajística única, que la ha convertido en atractivo para visitantes de todas partes del mundo. Hoy en día, esta bahía es considerada uno de los lugares turísticos más populares del país.

Sin embargo, los municipios de Puerto Vallarta y Bahía de Banderas a lo largo de los años han experimentado una pérdida de cerca del 90% de su territorio de manglares. Lo que antes acogió gran variedad de especies, en la actualidad se ha transformado en zonas para el desarrollo turístico, dejando no solo la huella del hombre, sino un impacto, a veces irreversible para los ecosistemas costeros. Los cambios en el uso de suelo para infraestructura urbana orientada al turismo han ocasionado destrucción masiva de las selvas tropicales, manglares, estuarios y arrecifes de coral. Estos ecosistemas, en conjunto, han albergado una gran variedad de flora y fauna en los alrededores de la bahía, incluyendo especies endémicas que se encuentran en riesgo.

Un ejemplo de ello es el Estero del Salado, que desde inicios de los años sesenta ha mostrado una constante disminución de especies como el ostión de raíz de mangle, camarón, róbalo, mojarra blanca y lisa. Esta pérdida de sus áreas se relaciona con la reducción en la cobertura de mangle, que originalmente se extendía hasta lo que hoy en día se conoce como el aeropuerto Gustavo Díaz Ordaz. Su construcción atrajo a la primera constructora y suscitó la tala masiva de bosques de mangle a lo largo de siete kilómetros. Su apertura marcó el inicio de lo que sería la transformación territorial, en la que se priorizó la expansión en

la infraestructura turística sobre la conservación de los ecosistemas. Este caso ejemplifica cómo las dinámicas de desarrollo urbano han impactado de manera directa los ecosistemas costeros y la calidad de vida de sus especies. Asimismo, el paisaje actual está protagonizado por edificios cuya altura supera los cuatro pisos, y donde progresivamente las montañas han ido perdiendo su cobertura verde.

Por esta razón, *Eating-sea* a través de la obra artística, busca exponer y representar, como la actividad humana ha transformado –se ha comido– los ecosistemas costeros de Puerto Vallarta y Bahía de Banderas. La pieza busca materializar el impacto del cambio en el uso de suelo de los espacios naturales. Mediante su estética de espacios positivos (blanco) y negativos (negro) busca simbolizar la reducción y limitación de los hábitats y territorios. La obra integra fotografías satelitales, grabados en distintos materiales, planos topográficos y fragmentos de textos. El autor con su pieza busca entablar diálogos reflexivos en torno al territorio de la bahía y, a través del arte, cuestionar ¿cómo?, poco a poco, la humanidad se ha ido «comiendo» los ecosistemas, dejando espacios cada vez más reducidos para su conservación y protección. Además, busca utilizar el valor heurístico de los mapas y planos para comprender cómo ha cambiado la ciudad de Puerto Vallarta a lo largo del tiempo.

DESARROLLO

Durante la historia, el ser humano ha tenido la necesidad de ilustrar de manera visual las problemáticas que ha enfrentado en relación con la naturaleza. Estas representaciones, se pueden observar en varias culturas mesoame-

ricanas, como fue el caso de los mayas. Ellos utilizaron desde sus jeroglíficos, textiles, artesanías, entre otros recursos para plasmar sus pensamientos y reflexiones en torno a su vínculo con el universo, la naturaleza y sus dioses. Sus representaciones estaban colmadas de seres bióticos (vivos: animales y plantas) y abióticos (no vivos), que les ayudaban a explicar su cosmovisión del mundo. Además, reflejaban problemas de su época como la sequía, la muerte, la guerra, la vida, entre otros.

Un ejemplo de ello se puede apreciar en la Figura 1, una pieza de relieve en piedra, que describe la decapitación en el juego de pelota. En esta imagen, se aprecia la sangre brotando representada por serpientes, que, en la cultura maya, simboliza la entrega de energía vital a las deidades, asegurando así el equilibrio y la continuidad de la vida. Esta pieza es una descripción ilustrada de un sacrificio por decapi-

tación en Chichén Itzá. La figura a la izquierda sujeta la cabeza de la figura a la derecha, cuya sangre brota en forma de serpientes (símbolo de fertilidad) desde su cuello.

De manera similar a los mayas, entre 1562 y 1573 Giuseppe Arcimboldo pintó *Las Cuatro Estaciones*, en alegoría a la conexión entre la naturaleza y la humanidad. El pintor utilizó elementos naturales como símbolos culturales y metafóricos. Hace uso de rostros humanos compuestos por elementos característicos de cada estación del año, pero que además hacen referencia a la época, a su contexto histórico.

El *Invierno* muestra un rostro humano compuesto por elementos invernales como ramas secas y troncos de árboles desnudos, simbolizando la dureza y desolación del clima frío. Aunque es una representación simbólica, evoca la sensación de heladas y la transformación que trae esta estación. La *Primavera* es un re-



Figura 1. Relieve en el Juego de Pelota de Chichén Itzá. Fotografía de Wolfgang Sauber. Fuente: Wikimedia Commons / Wikipedia.

trato que representa la llegada de la primavera y la renovación de la vida. Arcimboldo utilizó una variedad de flores y plantas para formar el rostro y la figura, simbolizando el despertar de la naturaleza y la alegría asociada con el cambio de estación, véase en la Figura 2.

Verano, es un rostro humano formado por frutas y verduras propias de la estación cálida, como peras, cerezas, calabacines y mazorcas de maíz. El cabello está hecho de espigas de trigo, y las facciones del rostro se componen de diferentes vegetales que simbolizan la abundancia de las cosechas durante el verano. *Otoño*, es un rostro humano de perfil, compuesto por diversos productos típicos de esta estación, como uvas, peras, manzanas, higos, castañas, calabazas y setas. Estos elementos se disponen de manera ingeniosa para formar los rasgos faciales y corporales de la figura, crean-

do una imagen que fusiona lo humano con lo vegetal véase en la Figura 3.

Las composiciones de Arcimboldo, al simbolizar la interconexión entre elementos naturales y humanos, logra simbolizar la interdependencia entre las comunidades con sus ecosistemas locales. Las expresiones faciales, logran transmitir la sensación humana de satisfacción o incertidumbre que cada estación del año conlleva en relación al clima y estabilidad para las poblaciones.

En estos dos primeros ejemplos, no necesariamente los mayas ni Arcimboldo buscaban reflejar de manera explícita el impacto humano sobre la naturaleza; sin embargo, a través de sus obras plasmaron la estrecha relación del ser humano con su entorno natural y su posición ante ello. En el caso de Arcimboldo, se nota una visión antropocéntrica al pintar los rostros humanos a partir de elementos de



Figura 2. De la serie *Las Cuatro Estaciones*, (1573). Óleo sobre tabla de Giuseppe Arcimboldo. En la izquierda la obra *Invierno* y en la derecha la obra *Primavera*. Óleo sobre tabla de Giuseppe Arcimboldo. Fotografía de Jastrow. Fuente: Wikimedia Commons / Wikipedia.



Figura 3. De la serie Las Cuatro Estaciones, (1573). Óleo sobre tabla de Giuseppe Arcimboldo. En la izquierda la obra Verano y en la derecha la obra Otoño. Fotografía de Jastrow. Fuente: Wikimedia Commons / Wikipedia.

la naturaleza como la fruta, mientras que en la representación de los mayas, la naturaleza no se ve subordinada al hombre, sino que se integra como elemento esencial de su relato y cosmovisión.

En la línea metafórica a los mayas y Arcimboldo, en 1910 Umberto Boccioni pintó *La ciudad se levanta* (*The City Rises*). Esta pieza, es una de las primeras pinturas del futurismo. Movimiento artístico que aludía al progreso y a la transformación de las ciudades. Boccioni en esta pieza, representa el caos del crecimiento urbano de la era moderna, donde las ciudades se transformaban al llegar las fábricas y la tecnología. Asimismo, la obra futurista de Boccioni, con su representación del caos y la transformación urbana, podría relacionarse con el desarrollo turístico desenfrenado que amenaza la biodiversidad de la bahía.

Esta obra, se podría leer como el reflejo de lo que fue la promesa de la era moderna, pero que hoy en día tiene elementos fallidos. Los caballos y humanos se ven diluidos por trazos en un movimiento vertiginoso, como si representaran el pasado transitando a la modernidad. El color dominante, rojo y los trazos que utiliza Boccioni, se podrían apreciar como la sangre, el dolor, la emoción o el precio que se debe pagar en todo cambio de época (Figura 4) Boccioni, como los mayas y Arcimboldo utiliza seres animados e inanimados para ilustrar los sucesos de sus tiempos.

Por su parte, en el arte contemporáneo también se encuentran ejemplos como; *Yo no creo en el Calentamiento Global* (*I Don't Believe in Global Warming*. Figura 5) una obra del artista urbano Banksy. La pieza tuvo lugar en 2009, después de que, en la reunión de la Cumbre del Clima celebrada por la ONU, no mostró



Figura 4. La ciudad que sube (1910). Óleo sobre lienzo de Umberto Boccioni. Fotografía de Anagoria. Fuente: Wikimedia Commons / Wikipedia.



Figura 5. Obra de arte urbana I Don't Believe in Global Warming del artista Banksy (2009). Fotografía de Dullhunk. Fuente: Flickr, CC BY 2.0.



soluciones claras y concretas a las problemáticas ambientales. En esta pieza, el artista buscó provocar e incitar a la reflexión en torno al cinismo con el que estas organizaciones han enfrentado las consecuencias desastrosas derivadas al Cambio Climático que acontece hoy en día en todo el mundo.

Toma como elementos narrativos, el agua, un edificio y letras rojas que podrían verse como mal hechas por su trazo descuidado y el color rojo alarmante, hace alusión al cinismo. La pieza está impregnada de simbolismos y metáforas visuales, y logra retratar el discurso superficial entorno al Cambio Climático de la época.

Otro ejemplo, es *Reloj de Hielo* (*Ice Watch*. Figura 6) del artista Olafur Eliasson junto con el geólogo Minik Rosing. Esta pieza de instalación se presentó en dos bloques; 24 piezas de hielo que se colocaron afuera del Tate Modern, y 6 bloques más afuera de Bloomberg. Los bloques de hielo, seres abióticos (sin vida) fueron tomados de icebergs desprendidos que se están derritiendo. A través de la obra, el artista y el geólogo buscan hacer testigos a los ciudadanos, del rápido derretimiento de los icebergs, y con ello hacer un llamado a actuar y hacer un alto a la pasividad.



Figura 6. Fotografías de Charlie Forgham-Bailey y Olafur Eliasson.

El análisis de las obras desde los mayas, Arcimboldo, Boccioni, Banksy y Eliasson permiten comprender cómo las representaciones en el arte han sido históricamente utilizadas para reflexionar sobre la relación entre la humanidad y su entorno, sirviendo como espacio crítico sobre los desafíos sociales y ambientales de cada época. Estas piezas artísticas, que integran simbolismo, metáforas visuales y representaciones de transformación, resultan útiles como referencia para interpretar y comunicar la crisis ambiental que enfrenta Puerto Vallarta y Bahía de Banderas.

Así como Arcimboldo vinculó la naturaleza con la identidad humana o Eliasson buscó sensibilizar al público sobre el cambio climático, obras como *Eating-sea* aplican estas mismas herramientas narrativas y estéticas para exponer el impacto del desarrollo urbano en los ecosistemas costeros locales. Esto permite conectar el contexto global con el local, subrayando el arte como puente para entender y abordar las problemáticas específicas de cada región, en este caso, la transformación de un paisaje natural hacia uno cada vez más consumido por la urbanización.

Para el municipio de Puerto Vallarta y la Bahía de Banderas, la situación ha sido desfavorable en los últimos años. A pesar, de ser considerados por algunos como uno de los destinos turísticos más importantes del país, la proliferación descontrolada de proyectos inmobiliarios, resultado del cambio en el uso del suelo, ha desencadenado un grave riesgo para los ecosistemas locales. Esto podría derivar, una serie de fenómenos como huracanes, incendios, sequía, entre otros, que podrían poner en peligro la vida de las personas que habitan y visitan esta región. La expansión de

hoteles, condominios y centros turísticos se ha convertido en una carrera desenfrenada por aprovechar los recursos naturales y maximizar los beneficios económicos, sin tener en cuenta las consecuencias a largo plazo sobre el medio ambiente.

Por esta razón, *Eating-sea*, busca representar la interacción constante del ser humano sobre los ecosistemas costeros de la región. La reflexión parte de tres especies: el cocodrilo, que ha perdido gran parte de su territorio y representa la parte salobre, los manglares como zona intermedia entre el mar y la montaña que han perdido gran parte de su cobertura. El pelícano representa la parte de la superficie marina, busca reflexionar en torno al cambio del paisaje con las grandes edificaciones que lo cubren, además de afectar el flujo del viento y el alcance del sol a zonas bajas. El hipocampo comúnmente conocido como caballito de mar, lleva a la reflexión del fondo del mar, ¿cómo? este está siendo impactado a partir de la presión urbana con la contaminación de residuos y contaminación sonora por el exceso de embarcaciones. Como parte de la investigación, se tomaron cifras de especies en existencia, así como de las que se encuentran en protección o peligro.

Estas tres especies interconectan el medio en el cual vivimos (Figuras 7 y 8). Simbolizan los ecosistemas que el ser humano se va «comiendo» sin pensar en la flora y fauna que los habita. Además de reflexionar en torno a lo natural, la pieza, *Eating-sea* busca dialogar con la historia de Vallarta, acerca de cómo se ha ignorado el significado de esculturas como «El niño sobre el Caballo de Mar» del artista Rafael Zamarripa. Pieza escultórica que representa esa riqueza y abundancia ecológica, además de

la inocencia del Puerto Vallarta viejo, pero que hoy en día poco queda de ello, y solo se resume a ser un atractivo turístico, que a la fecha atrae a mucha audiencia local y extranjero.

La construcción tridimensional de la pieza se basó en la técnica del artista Pedro Linares. Quien creo estas figuras mágicas/oníricas llamadas «alebrijes» inspirados en sus sueños, tras una enfermedad que lo dejó en convalecencia por varios meses. Suceso, que lo llevó a crear estas criaturas que fusionan seres fantásticos con reales.

Variaciones de *Eating-sea* en el bocetaje.

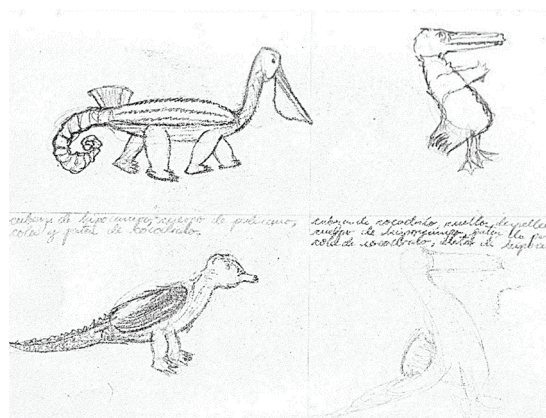


Figura 7. Bocetos de alebrije por el artista.



Figura 8. Boceto alebrije final. Imágenes de Giovanni José Orozco Sánchez.

La pieza final responde al boceto, donde se mezcla la cabeza del cocodrilo con la del pelícano, el cuerpo de hipocampo con brazos del reptil, y por último la cola y patas forman parte del pelícano. A partir de la forma definida del alebrije, se crearon los grabados y transfers utilizando información del territorio. La obra integra texturas y relieves que generan figuras y formas abstractas simbolizando la reducción de espacios naturales. El crecimiento urbano de Puerto Vallarta se representó mediante imágenes cartográficas tomadas de Google Earth, que evidencian como la expansión de la mancha urbana ha reducido áreas naturales como manglares. Estas imágenes adquirieron un valor heurístico, sirviendo como herramienta para analizar y comprender los cambios en la ciudad.

Posteriormente, algunas imágenes fueron intervenidas con interposición de técnicas de grabado en referencia a la obra gráfica de la artista Ileri Topete. Estas intervenciones generaron una estética de espacios positivos y negativos que evidencian la reducción de zonas costeras en el Puerto (Figura 9). Otras imágenes satelitales, simplemente se pasaron a blanco y negro (Figura 10). Además, como parte de la narrativa visual, se jugó con los relieves y texturas de la figura tridimensional que tiene el acabado tradicional de la cartonería del alebrije. Conforme se cubría el alebrije, se crearon composiciones que combinan imágenes de grabado y transfer, en alusión a la pintura clásica del Alebrije, pero en este caso reemplazando lo colorido por una paleta de blanco y negro.

Las imágenes satelitales son de las ubicaciones de Marina Vallarta, el Estero El Salado y alrededores del río Pitillal. Además, se inter-

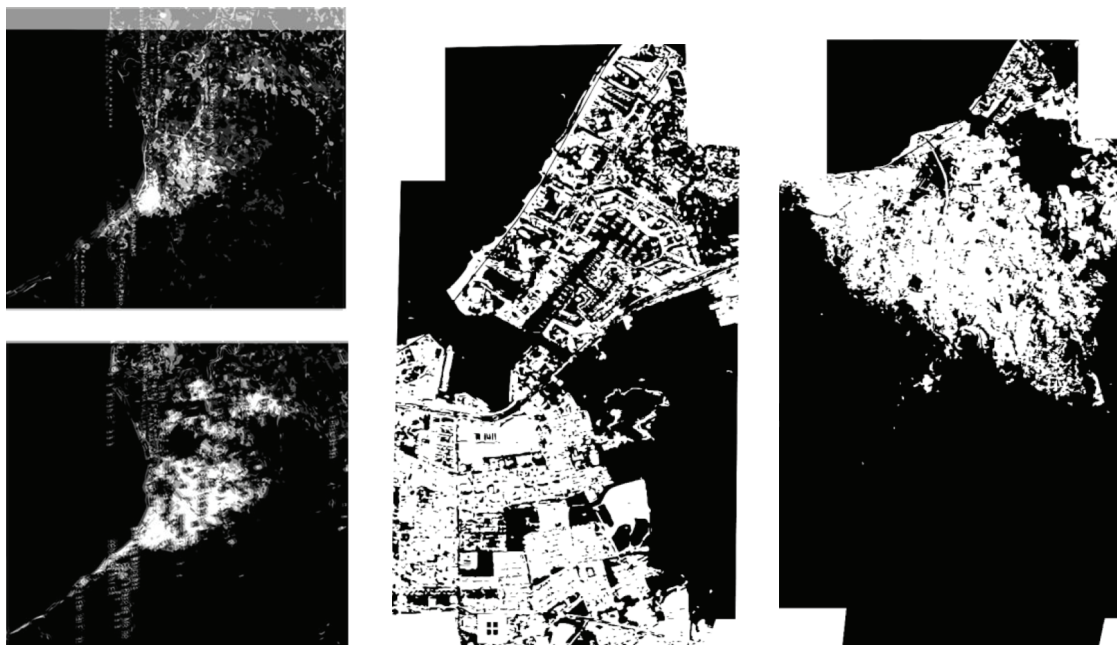


Figura 9. Imágenes cartográficas tomadas de Google Earth intervenidas por el artista Geovanni José Orozco Sánchez.

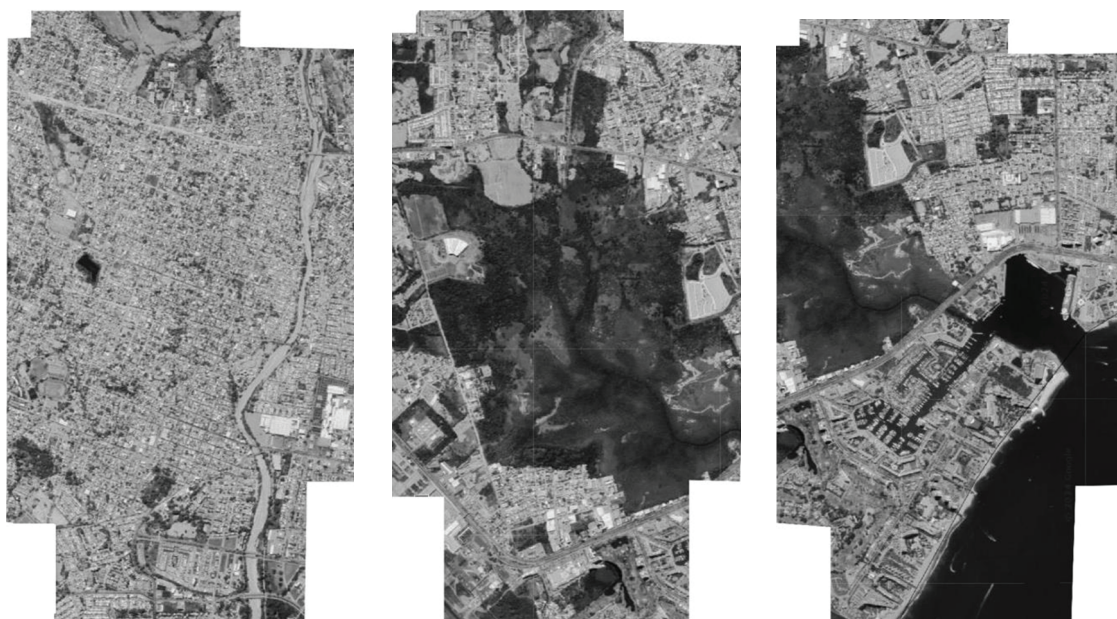


Figura 10. Imágenes tomadas e intervenidas a blanco y negro por Geovanni José Orozco Sánchez de Google Earth.

vinieron y mezclaron otras imágenes satelitales del territorio de Puerto Vallarta generando manchas aglomeradas de urbanización (véase Figura 11).

Como ejercicio de reflexión, la pieza final, deja la pregunta ¿hacia dónde va el sentido de la construcción y urbanización de la región? ¿esta tiene una visión sustentable para que el medio ambiente y urbano coexistan? (véase-Figura 12).

Este tipo de cuestionamientos en torno al arte y el medio ambiente es señalado por Albe-

da (2018), en su libro que tuvo como objetivo analizar las bases culturales que han constituido el estilo de vida de consumo actual que daña el medio ambiente. Dentro de la obra los autores hacen referencia al *Manifiesto futurista*, época en la que se introdujo la admiración por la máquina y la velocidad como se muestra en la pintura de Boccioni. Sobre esa línea intenta proponer un cambio, pensar un mundo nuevo para mitigar los daños ambientales que ha producido el pensamiento antropocéntrico. Además, señala la importancia de determinar



Figura 11. Transfers de imágenes tomadas de Google Earth (imagen superior). Grabados del artista (imagen inferior). Fotografías de: Geovanni José Orozco Sánchez.

nuevos valores estéticos, que partan de principios como revalorizar lo cercano para hacerlo hermoso y habitable. Buscar una simbiosis entre naturaleza y cultura, tomando la biomímesis «imitar la vida» como modelo y promover el valor de la diversidad social y cultural. Proponen que las obras deben perseguir como características; la diversidad, el sentido de la medida, la sencillez, la funcionalidad, la singularidad, la durabilidad, la elegancia; el aprecio por lo local, la vitalidad de la naturaleza y la

fuerza del Sol. La obra de *Eating-sea* comparte varios de los valores planteados por los autores como: la diversidad, la sencillez, la singularidad, la durabilidad, el aprecio por lo local y la vitalidad de la naturaleza.

CONCLUSIONES

En conclusión, este ensayo resalta la intervención humana en los ecosistemas costeros de Puerto Vallarta y Bahía de Banderas, así como



Figura 12. Obra de arte *Eating-sea*. Fotografía de: Giovanni José Orozco Sánchez.

la huella humana ha generada en la biodiversidad y el entorno natural de la región. A través del análisis de diversas obras artísticas, el texto muestra cómo el arte ha servido históricamente como herramienta poderosa para reflejar preocupaciones en torno a la relación hombre naturaleza, así como las consecuencias en la transformación del paisaje, tanto en tiempos antiguos como en la actualidad. La escultura/alebrije *Eating-sea* se presenta como una reflexión sobre la pérdida de los manglares y la modificación del entorno natural. Su estética simboliza cómo el ser humano, en su afán de desarrollo turístico y urbano, «consume» estos ecosistemas. La pieza invita a cuestionar la forma actual de urbanizar, así como a reflexionar sobre la necesidad de una planificación en la región que se dirija hacia el equilibrio entre el crecimiento urbano y la conservación ambiental, planteando un urgente llamado a la acción para asegurar un desarrollo sustentable que respete y proteja los recursos naturales.

LITERATURA RELEVANTE

- Albeda, J., Parreño, J. M., y Marrero Henríquez, J. M. (2018). *Humanidades ambientales: pensamiento, arte y relatos para el Siglo de la Gran Prueba*.
- Alday, B. K. (2022). *Cosmovisión Maya de ayer y hoy* (Vol. 1). Editores Mexicanos Unidos.
- Cárdenas Gómez, E. P. y Rodríguez Bautista, J. J. (2012). La transformación urbana de Puerto Vallarta, Jalisco. *Espacios Públicos*, 15(34), 208-230. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67623463016>
- Fundación Actual. (2021, July 27). *Ice Watch London, Olafur Eliasson*. <https://fundacionactual.org/noticia/ice-watch-london-olafur-eliasson/>
- Prieto Fernández, L. (2015). *La ciudad se levanta, Boccioni*. <https://arte.laguia2000.com/pintura/la-ciudad-se-levanta-boccioni>
- Rogelio, C., Aguilar, V., Gandara, J. M., y Arce, A. Z. (2016). Puerto Vallarta y sus etapas, una aproximación a la teoría evolutiva. *Revista de Cultura e Turismo*, 10(3), 135-163.
- Unidad de Comunicación Social CUCosta. (2023, agosto 11). *Año con Año Puerto Vallarta Pierde Espacios en la Zona Federal*. <http://www.cuc.udg.mx/es/noticia/ano-con-ano-puerto-vallarta-pierde-espacios-en-la-zona-federal>
- Vidar. (2024, junio 24). «*I Don't Believe in Global Warming*» by Banksy. <https://fundacionactual.org/noticia/ice-watch-london-olafur-eliasson/>

Modelos que no son de pasarela

José Leonardo Ledea-Rodríguez¹, María Fernanda Jiménez^{2,3} y
Juan Carlos González-Aguirre³

RESUMEN. Cuando escuchamos la palabra *modelo*, solemos pensar en moda o pasarelas, pero en ciencia significa algo muy diferente, en particular en matemáticas y estadística. Un modelo es una forma de representar la realidad mediante conceptos, números y ecuaciones. En el presente artículo exploramos el origen de los modelos, cómo se definen y qué utilidad tienen en la comprensión de fenómenos naturales. También, analizamos distintos significados del término *modelo* y cómo influyen en la percepción que tenemos sobre él. Los modelos no solo describen situaciones; también permiten predecir y explicar comportamientos en áreas como la biología, la física, la economía o la climatología. A lo largo del texto explicamos cómo se construyen, qué elementos los componen y porqué son herramientas

fundamentales en la investigación científica y en la vida diaria.

INTRODUCCIÓN

Desde la primaria, posteriormente secundaria y luego bachiller, conocemos la existencia de las matemáticas y nos acercamos a su compleja simplicidad de resolución, lo que genera cierto conflicto y rechazo, principalmente por la abstracción que se debe tener para su comprensión. Se nos dificulta mucho memorizar conceptos como las tablas de multiplicar y comprender cálculos que los involucren, dichos conceptos los debemos aprender por responsabilidad escolar, y posteriormente por sentido práctico de la vida, ya que las utilizamos en absolutamente todas nuestras activi-

¹ Departamento Académico de Ciencia Animal y Conservación del Hábitat, Universidad Autónoma de Baja California Sur.

² División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

³ Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco.

Recibido: 17/08/2025

Aceptado: 27/08/2025

Publicado: 28/08/2025

dades una vez que somos conscientes de su existencia y aplicabilidad.

Uno de los primeros pasos que damos en el aprendizaje de las matemáticas es aprender a multiplicar, lo cual se puede ver como uno de los primeros modelos que aprendemos a usar, si entendemos por «modelo», de forma sencilla, una manera de proceder en la solución de un problema, y en la medida que vamos avanzando en los niveles de las matemáticas estos modelos se van haciendo más complejos en generación, procedimiento de cálculo, resolución e interpretación. En el presente artículo de divulgación platicamos y damos un acercamiento al fascinante mundo de los modelos matemáticos.

ORIGEN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS, ALGUNOS CONCEPTOS Y USOS DEL TÉRMINO MODELO

En otro entendido del término «modelo», estaremos viendo varios durante el artículo, podría definirse como una palabra neutra que significa varias cosas y es ubicada en varios contextos como: –el modelo a seguir–, –modelo a escala–, –modelos de negocios, político, deportivo, educativo, o de pasarela–, entendiendo que cada uno de los mencionados modelos conlleva una sucesión de actividades, muchas veces articuladas entre sí o interdependientes, cuyo orden de aparición define la calidad del modelo *per se*.

Se conoce por la existencia de papiros, códigos, escrituras en piedra y de más mensajes de la humanidad que nos antecedió, que los primeros en utilizar los números fueron los indios de la India, de hecho, el sistema numérico decimal (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) proviene

de ellos, y fue Fibonacci (Leonardo de Pisa), reconocido matemático de la República Pisa quién dio a conocer al mundo este sistema mediante la publicación del libro en latín titulado *Liber abaci*, sin embargo, fue su trabajo de 1202 el que inició las pautas de cálculo con «El problema de los conejos de Fibonacci», reconociéndosele como «La sucesión de Fibonacci (1202)», y quizás fue esta la primera modelación matemática registrada para la historia, aunque muchos siglos pasaron para que esta tuviera utilidad en el desarrollo de los modelos matemáticos.

PERCEPCIÓN DE MODELOS

Un modelo puede ser tan sencillo o complejo como el público que pretendamos que lo comprenda, lo cual va a determinar la cantidad de detalles a resaltar o a representar. Por ejemplo, si pedimos a un niño de cinco años (Figura 1 (1)), de 13 (Figura 1 (2)), de 18 (Figura 1 (3)) o un profesional de la agronomía o forestería (Figura 1 (4)) que represente un modelo de árbol, la sencillez y/o complejidad convergerán de acuerdo con el proceso de cosmovisión y experiencia que hayan tenido con árboles, respecto a lo que la mayoría de la gente mira (Figura 1 (5)).

DEFINICIÓN DE MODELO

Todo parece indicar que es un término que las matemáticas y disciplinas relacionadas han dominado y apropiado muy bien, de hecho, hoy en día son las que más promueven el término, originando en las generaciones más jóvenes temor o miedo, como si de película de horror se tratase, ya que en los modelos existe una enor-

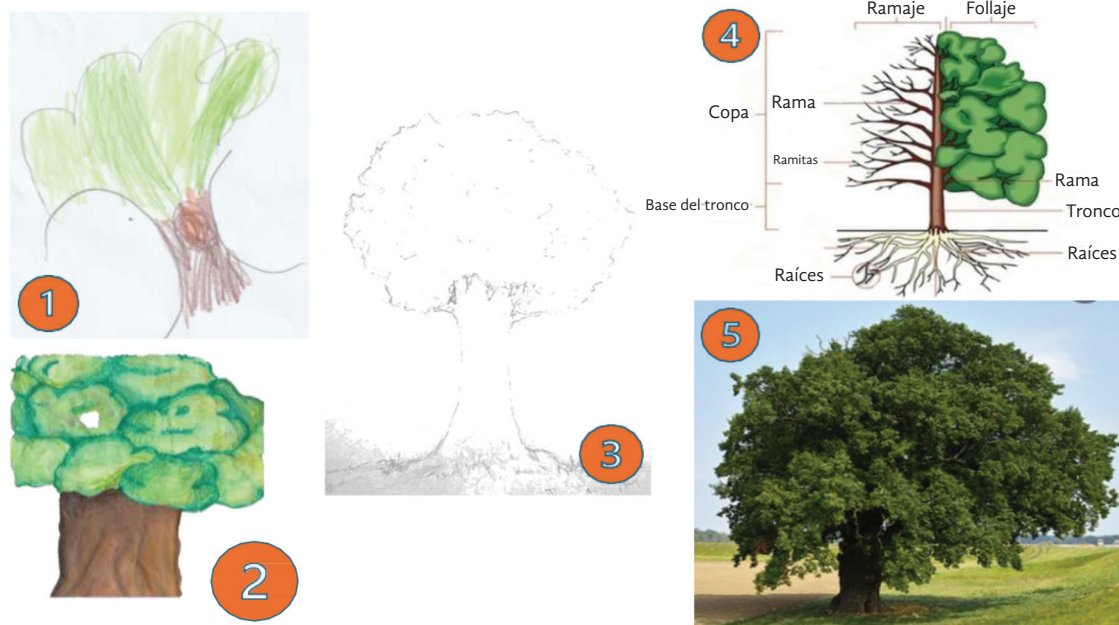


Figura 1. Percepción de un árbol determinado por la experiencia del observador y área de expertis. Árbol 1: Cortesía de Jazmín Itzel Ledea Morales/Kindergarten; árbol 2: cortesía de Karolay Serrano Morales/Secundaria, árbol 3: Cortesía de Dasha Aileen Serrano Morales/Universitaria.

me cantidad de números, variables, parámetros y muchas combinaciones e interacciones de dichos elementos que pueden resultar de la experiencia e imaginación de la persona que esté desarrollando el modelo; la verdad es que entre más complejo sea un modelo matemático menos funcional es, ya que se incrementa el número de factores a controlar, y con ello, las probabilidades de error en las predicciones que se pueda hacer con él.

En apego a las matemáticas y disciplinas anexas como la estadística o diseños de experimentos, abordamos la definición de este término sin menoscabar los avances que otras disciplinas han logrado con el mismo. El término modelo, como definición, relaciona como en una película de ciencia ficción, lo real con lo imaginario. Muy pocas disciplinas poseen herramientas tan fascinantes y mágicas, denominadas «variables», que tengan la capacidad

de, mediante la combinación de estas dos percepciones, traer ideas al plano físico y hacerlas tangibles. Un modelo es aplicado generalmente para comprender la naturaleza de las cosas, tanto así que la primera referencia que se tiene en el uso de modelos fue precisamente la descripción del crecimiento de conejos mediante números, desarrollada por Fibonacci, como se mencionó anteriormente.

No obstante, antes de Fibonacci en el siglo II a.C ya existían los marinos y los nómadas, que en la noche se ubicaban en el plano cartesiano mediante los movimientos de los astros, o bien utilizaban las ubicaciones fijas del sol y estrellas para calcular la posición de los barcos en altamar, esto también es una forma de modelado, ya que relacionaban fechas con posiciones de los astros para predecir el posible comportamiento de estos, y fueron este conjunto de experiencias acumuladas las que

permitieron en tiempos posteriores a Tycho Brahe desarrollar observaciones de las órbitas espaciales a partir de la relación entre fechas y coordenadas de posicionamiento orbital (Figura 2A), y con esta información Kepler logró desarrollar ecuaciones que estimaban con gran precisión el desplazamiento de los planetas en el cielo (Figura 2B); contribuyendo en conjunto a desarrollar la «Ecuación del tiempo en astronomía y navegación», este acontecimiento se desarrollaba de manera paralela a lo que Newton denominó como «Segunda Ley de Newton», ironías de la vida, no?

Entonces, podríamos considerar con cierta precisión que, de manera inconsciente hemos utilizado la modelación desde los inicios de la humanidad. El estadístico británico George Box en 1976 sentenciaba «En esencia, todos los modelos están equivocados, pero algunos son útiles», esta es una fuerte afirmación para los que nos dedicamos al uso de los modelos matemáticos, y es que tiene razón el autor, un modelo que fue útil al inicio del estudio de un proceso, en la medida que avanza el estudio y cambian o se modifican los factores que utiliza el modelo para hacer la predicción, este pierde

utilidad, porque él también tiene la capacidad para cambiar y adaptarse a las nuevas condiciones y características del fenómeno, solo hay que tener perspicacia, capacidad de observación y algo de experiencia para poder detectar la asertividad de estas adaptaciones por parte del modelo.

DESCRIPCIÓN DE UN MODELO

Sin lugar a dudas, las matemáticas constituyen el lenguaje universal que nos permite la comprensión del universo con todas sus integraciones, y comunicación con otras formas de materia, de esta manera los modelos son mirados, aunque no estén presentes, son considerados aunque se ignore su presencia y siempre se encuentran en estado neutro hasta que el experto de la disciplina les otorgue un significado práctico, de esta manera se utilizan las matemáticas para expresar ideas, procesos, funciones, fenómenos, entre otros muchos términos, y al integrarlo con el objeto de estudio adquieren el nombre de modelo matemático, que este, a fin de visualizar los fenómenos, se basa en recursos gráficos que ayudan a comprender lo que con números se presente, por ejemplo, en la Figura 3, en la parte izquierda se muestra el atractor de Lorenz, una figura que aparece cuando seguimos cómo se mueve un sistema con tres reglas matemáticas muy simples. Aunque las reglas son sencillas, el resultado es sorprendente: una forma que nunca se repite, como un lazo que gira y gira sin parar. Este dibujo nos ayuda a entender que, en la naturaleza, a veces cosas pequeñas pueden cambiar mucho el resultado, algo que se llama «caos». La imagen de la derecha es un dibujo especial utilizado en las matemáticas cuyo

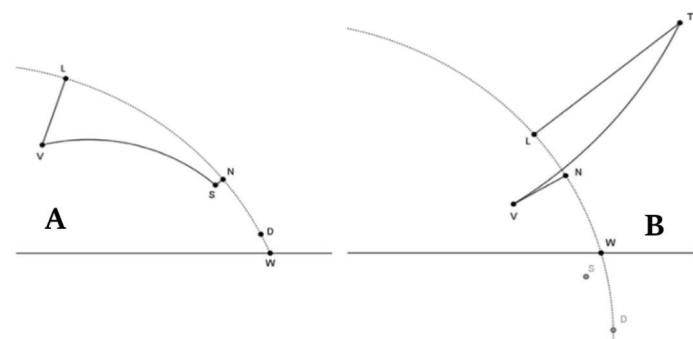


Figura 2. Modelos empleados para el estudio de las órbitas espaciales (A), y desplazamiento de los planetas (B). Contribución de Tycho Brahe (A) y Kepler (B).

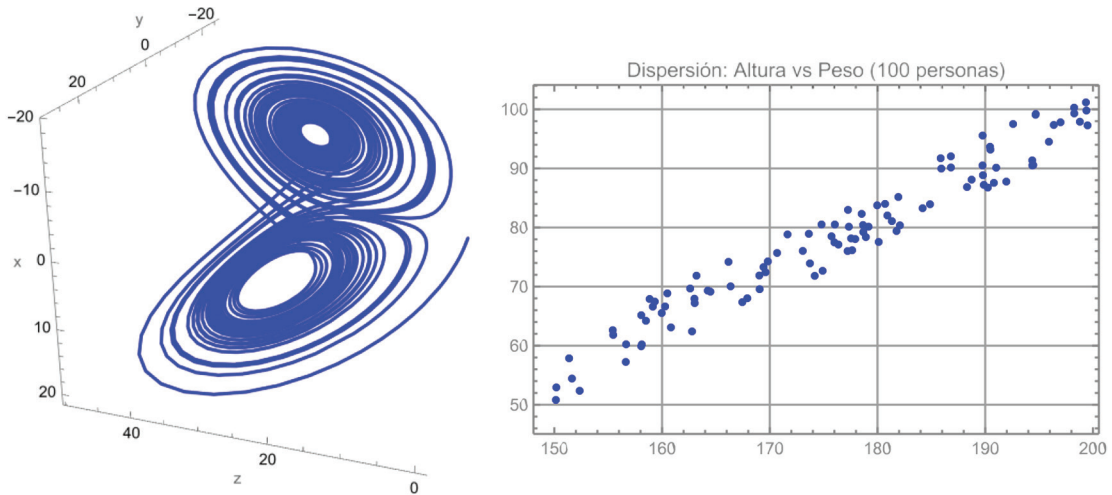


Figura 3. Recursos gráficos resultantes de modelaciones matemáticas. Elaboración propia.

nombre técnico es diagrama de dispersión, en particular este cuenta con 100 puntos que muestran la altura (en el eje horizontal) y el peso (en el eje vertical) de 100 personas. Esta representación nos ayuda a ver de una manera

gráfica que existe una relación entre estas dos características, como por ejemplo que las personas más altas suelen pesar más.

Todos los modelos poseen un trasfondo matemático, desde la caída de un rayo, el cauce de un río, el crecimiento de los seres vivos, movimientos atmosféricos, migraciones, comportamientos etológicos de los animales, todo es modelable desde la matemática (Figura 4).

UTILIDAD DE LOS MODELOS

Los modelos matemáticos o estadísticos son utilizados constantemente para hacer predicciones de aparición u ocurrencia de fenómenos con un margen de error y otro de efectividad, tanto la precisión como la ocurrencia de error obedecen a criterios multifactoriales, es decir, dependen de muchas causas que pueden ocurrir todas a la vez, de forma escalonada, sinérgica, antagónica u ordenadamente; este orden de ocurrencia escapa al control del hombre, el único control que se puede tener es mediante el desarrollo o construcción de una herramienta, en este caso un modelo, capaz prever

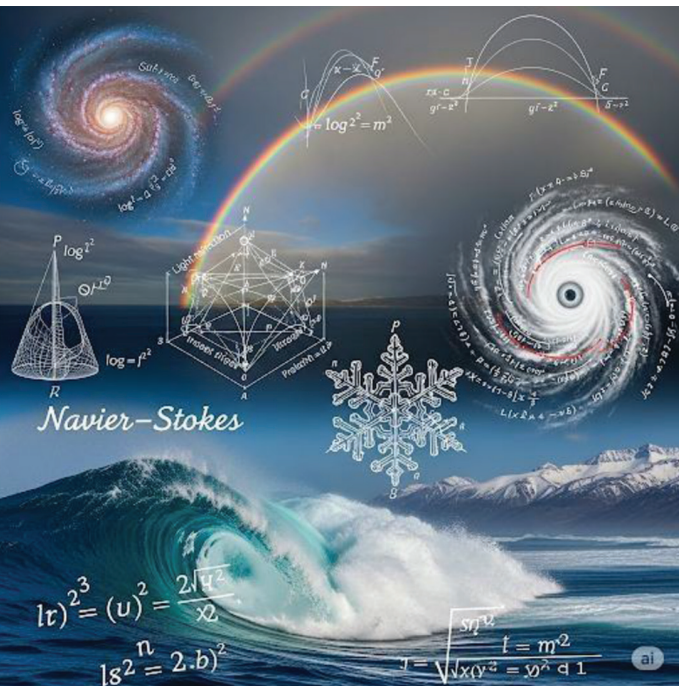


Figura 4. Fenómenos naturales comprendidos desde la modelación matemática. Imagen generada a través de Gemini.

estas ordenanzas y muchas otras omitidas por la complejidad de sus conceptos; un ejemplo cotidiano de la utilidad de los modelos es el pronóstico del tiempo, el cual se realiza mediante complejos modelos matemáticos, que algunas veces son certeros, y en otras no tanto. La mayoría de los modelos, no consideran imprevistos porque no existen datos para ello, generalmente los imprevistos son espontáneos, por eso no son predecibles.

En este orden de pensamiento, los modelos matemáticos permiten dentro de las predicciones que pueden hacer, desarrollar tendencias en las ocurrencias basadas en las probabilidades de que se presenten o no, también permiten construir históricos de ocurrencias o desarrollo de fenómenos y comprender el comportamiento que muchas veces es errático e ilógico para el razonamiento humano, y con esta experiencia de trabajo, desarrollar otros modelos para facilitar la vida cotidiana, como constituyen hoy las redes sociales, construcción de circuitos eléctricos, estudio del cosmos, estudio de las corrientes marinas, el crecimiento de los organismos, desarrollo de aplicaciones de entretenimiento que hoy evolucionan a dispositivos de Streaming, en fin, que las comodidades de la vida cotidiana que disfrutamos hoy día, son el resultado de la convergencia de muchas disciplinas, en donde los modelos matemáticos jerarquizan, conducen, y ordenan las actividades.

COMO SE USAN LOS MODELOS MATEMÁTICOS

La materia prima de los modelos matemáticos son los datos, o sea los números, por lo que es imposible explicar su uso sin emplear núme-

ros, por favor querido lector o lectora no caiga en pánico, lo haremos de manera muy amena y asequible.

Primeramente, tenemos un proceso de captura de datos que puede ser digital (datos que provienen de otros equipos que se encargan de tomar las lecturas) o manuscritos, estos datos son tomados mediante mediciones directas en condiciones de campo (no necesariamente al aire libre), para un médico «campo» puede ser la sala de consultas, mientras que para el ingeniero el «campo» puede ser un edificio en obras negras.

Los datos son capturados y ordenados en una matriz, entiéndase este término como una tabla conformada por una cantidad de columnas y otra de filas, conformando así una malla rectangular, donde el espacio en cada rejilla es rellenado con los valores (números) que se acopiaron de lecturas en campo o de equipos digitales (Figura 5A), luego el modelo las transforma en una forma procesable y comprensible para él (Figura 5B).

Posteriormente, se crea el modelo tratando de considerar todas las variables que intervienen en la respuesta de un proceso determinado, y que éstas estén relacionadas entre sí. Luego se ejecuta el modelo (se hacen pruebas del funcionamiento de este) mediante computadores con software especializados para ello y así obtener una predicción que se contrastará con una lectura para el proceso determinado (Figura 5C).

CALIDAD DE UN MODELO

Que se construya o se obtenga un modelo no quiere decir que este es confiable y que su precisión es aceptable, o que funcione «bien».

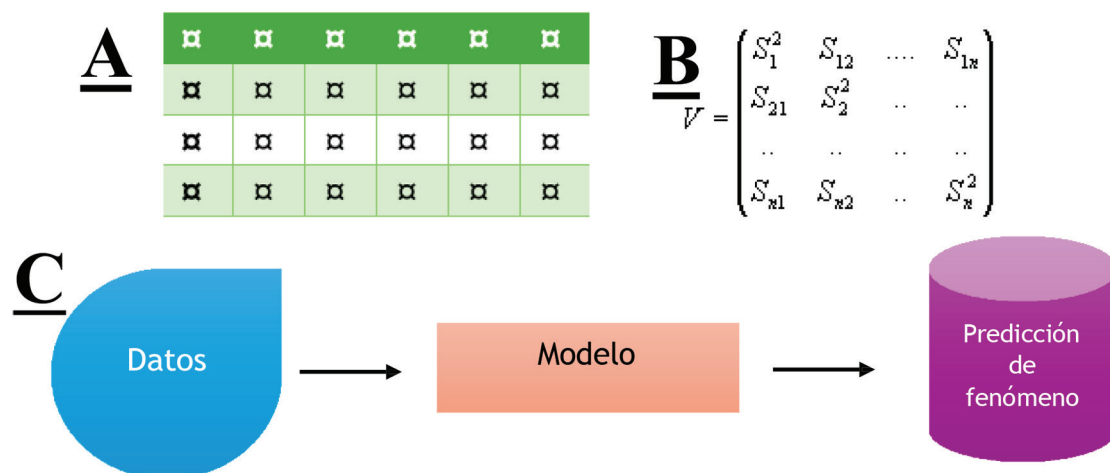


Figura 5. Cómo funcionan los modelos.

Desde la matemática se han construido pruebas para comprobar la fiabilidad de los modelos, muchas de estas pruebas llevan el nombre de los matemáticos que las desarrollaron, por ejemplo, la prueba de Kolmogorov-Smirnov, de Jarque-Bera, Durbin-Watson, Bartlett, Levene's, entre muchas otras.

Algunas pruebas se agrupan por criterios como la validación, que consiste en comparar los resultados del modelo en desarrollo con los de otros modelos desarrollados, y así medir el nivel de significancia de la predicción, de las pruebas más utilizadas se mencionan en la bibliografía especializada el criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio de información bayesiano (BIC).

La sensibilidad es otro de los criterios utilizados en la valoración de los modelos, este procedimiento se basa en cuánto afecta a la predicción del modelo el cambio o modificación de los valores de las variables. A la sensibilidad se le suele conocer como el efecto mariposa, para entender dicho efecto el lector podría hacer referencia a la película que lleva por nombre «el efecto mariposa».

Un ejemplo genérico simple, es el problema de la recta que mejor ajusta a una nube de puntos (problema de regresión lineal), el cual se muestra en la Figura 6. Dado un conjunto de datos, valores reales (puntos azules), se desea dibujar una recta encima de la nube de datos, como se muestra en la parte derecha de la Figura 6, de tal forma que la distancia que hay entre la recta y cada uno de los datos sea la menor posible, como se ve en la Figura 6, parte izquierda. ¿Cuál es el objetivo de hacer esto? Poder predecir nuevos valores en la nube de puntos que sean confiables.

CONCLUSIONES

1. Los modelos matemáticos no son simples ejercicios abstractos que se quedan plasmados en un papel o una computadora, sino que son herramientas que nos permiten comprender, explicar y anticipar el comportamiento de muchos fenómenos del mundo real. En este artículo vimos que un modelo no es una copia exacta de la realidad, sino una representación simplificada que conserva los aspectos más

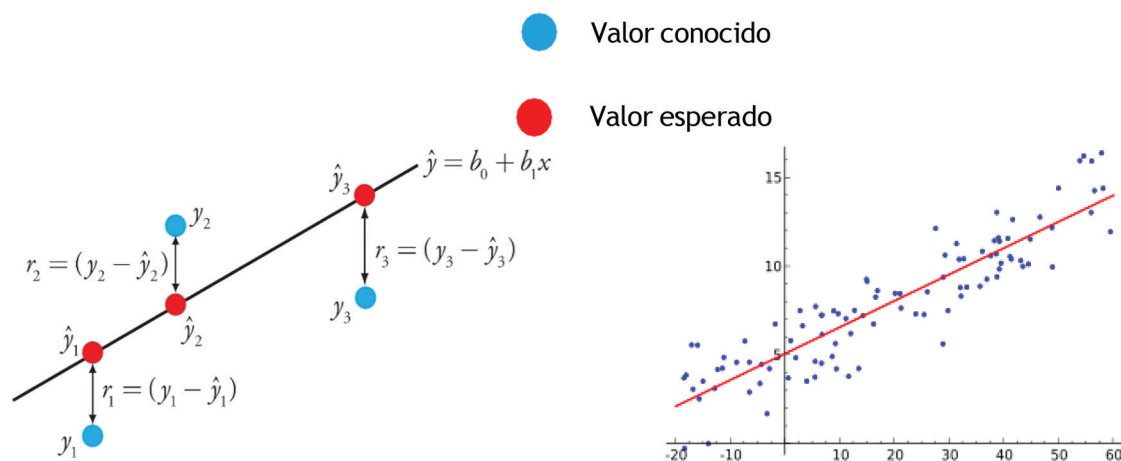


Figura 6. Ejemplo genérico de obtención de valores esperados producto a la modelación matemática a partir de valores conocidos.

importantes para responder preguntas o resolver problemas. Es tener como un puente entre la teoría y la práctica, que nos permite traducir situaciones complejas en expresiones que pueden analizarse y modificarse.

Comprendimos que los modelos no solo pertenecen a la ciencia, sino que también influyen en nuestra vida cotidiana, desde pronósticos del clima y predicciones económicas hasta la planificación de rutas o el control de epidemias. Aunque no son perfectos, su utilidad radica en que ayudan a tomar decisiones informadas y a entender patrones que, a simple vista, podrían parecer caóticos.

La comprensión de qué es un modelo, cómo se construye y por qué es útil nos acerca a la manera en que la ciencia organiza el conocimiento. Así, podemos apreciar que, más allá de la pasarela, los modelos matemáticos son protagonistas silenciosos en los avances tecnológicos y en la explicación de los procesos que sostienen nuestra vida diaria.

LITERATURA RELEVANTE

- Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6). <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Bartlett, M. S. (1937). Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the royal society of london. series a-mathematical and physical sciences*, 160(901), 268-282.
- Khatun, N. (2021). Applications of Normality Test in Statistical Analysis. *Open Journal of Statistics*, 11(01). <https://doi.org/10.4236/ojs.2021.111006>
- King, M. L. (1981). The alternative Durbin-Watson test. An assessment of Durbin and Watson's choice of test statistic. *Journal of Econometrics*, 17(1). [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(81\)90058-0](https://doi.org/10.1016/0304-4076(81)90058-0)
- Massey, F. J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, 46(253), 68-78. <https://doi.org/10.1080/01621459.1951.10500769>

- Schultz, B. B. (1985). Levene's Test for Relative Variation. *Systematic Zoology*, 34(4). <https://doi.org/10.2307/2413207>
- Schwarz, G. (1968). Asymptotic Shapes for Sequential Testing of Truncation Parameters. *The Annals of Mathematical Statistics*, 39(6). <https://doi.org/10.1214/aoms/1177698031>
- Tillman, J. A. (1975). The Power of the Durbin-Watson Test. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 43(5/6). <https://doi.org/10.2307/1911337>

Ciencia con conciencia: el corazón de las 3Rs

Kevin Omar Ponce Palomera^{1,2}, Zinnia Edith Aguirre García²,
Saúl Rogelio Guerrero Galván² y Daniel Badillo Zapata^{2,3}

RESUMEN. Millones de animales son utilizados en la investigación científica, lo que ha generado debates éticos sobre su uso. En respuesta, surgió el principio de las 3Rs: Reemplazo, Reducción y Refinamiento, propuesto en 1959 para promover una ciencia más ética y responsable. El Reemplazo busca alternativas como cultivos celulares, simulaciones computacionales y modelos como embriones de pez cebra, que no están regulados en muchas normativas antes de los cinco días de vida. La Reducción se enfoca en obtener más información con menos animales y el Refinamiento implica mejorar el bienestar animal, minimizando dolor y estrés mediante mejores condiciones de vida, uso de anestesia y técnicas menos invasivas. A nivel mundial, países como los de la Unión Europea, Estados Unidos y Canadá han

incorporado legalmente las 3Rs en su normativa. En México, aunque existen avances, aún hay desafíos en la implementación. El pez cebra destaca como modelo que plantea nuevas oportunidades bioéticas. Aunque aún no es posible una ciencia totalmente libre de animales, la combinación de tecnología, legislación y ética está cambiando el panorama. Las 3Rs ya no solo son una guía moral, sino una vía hacia una investigación más responsable.

Palabras clave: bienestar animal, bioética, investigación científica, modelos alternativos, reemplazo.

INTRODUCCIÓN

Cada año, millones de animales se utilizan en los laboratorios de todo el mundo con la fina-

¹ Programa de Doctorado BEMARENA, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Puerto Vallarta, Jalisco, México.

² Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

³ Programa de investigadoras e investigadores por México. Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI). Ciudad de México, México.

Recibido: 25/05/2025

Aceptado: 10/09/2025

Publicado: 22/09/2025

lidad investigar enfermedades, probar nuevos medicamentos o estudiar procesos biológicos complejos. Aunque estos estudios han sido fundamentales para diversos avances científicos y médicos, también han abierto un debate que no podemos dejar a un lado: ¿es ético experimentar con seres vivos? La gran noticia es que la ciencia también ha evolucionado en el uso de seres vivos. Desde hace más de cincuenta años, investigadores de todo el mundo han adoptado un principio simple pero poderoso y fundamental: las 3Rs, que fue desarrollado por Russell y Burch en el año 1959. Esta fórmula que quiere decir: Reemplazo, Reducción y Refinamiento, no solo busca reducir el uso de animales en la ciencia, sino también garantizar su bienestar cuando su uso es ineludible. En este escrito, exploraremos cómo las 3Rs han llevado por buen camino a la investigación, qué tecnologías han surgido como alternativa al uso de animales y cómo nuestro país está adoptando este principio, porque hacer ciencia no solo es descubrir, sino también hacerlo con responsabilidad.

REEMPLAZO: CUANDO LAS CÉLULAS Y LAS COMPUTADORAS TOMAN RELEVO

Mucho tiempo, el uso de animales en la investigación científica fue visto como la única opción viable. Pero gracias a la tecnología y al interés por la bioética, han aparecido herramientas que son capaces de reemplazar el uso de animales en diversas investigaciones. El principal aliado del reemplazo (Figura 1) es el modelo in vitro, que usa cultivos de células humanas o animales para estudiar enfermedades, probar medicamentos o analizar respuestas

biológicas. Por ejemplo, las llamadas mini vísceras u organoides son versiones en miniatura de órganos como el cerebro, el intestino o el hígado, que se desarrollaron a través de células madre. Estos modelos no solo evitan el uso de animales, sino que, pueden ofrecer datos más precisos, debido a que son de humanos. Otro de los recursos más utilizados es la simulación por computadora o modelo in silico, que permite predecir cómo reaccionará cualquier sustancia en el cuerpo sin necesidad de probarla directamente en animales. Todas estas simulaciones, han sido mejoradas, a tal grado que algunas agencias regulatorias ya las aceptan como parte del proceso de evaluaciones toxicológicas o farmacológicas. Además, se están utilizando organismos que no son vertebrados, como la mosca de la fruta o el gusano *Caenorhabditis elegans*, para reemplazar estudios que antes solo se hacían en vertebrados. Inclusive los embriones de pez cebra, que muchas normativas no lo consideran animales protegidos hasta los cinco días de desarrollo, brindan información valiosa en toxicología y biomedicina. Claro que aún hay áreas de la ciencia donde el uso de animales sigue siendo necesario, principalmente cuando se estudian sistemas

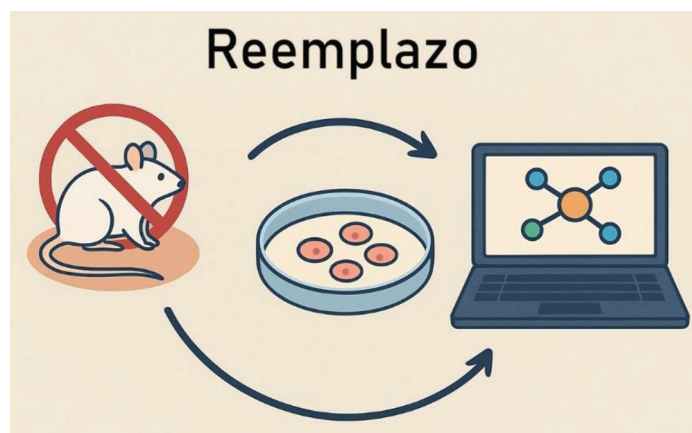


Figura 1. Generada con la IA ChatGPT.

más complejos como el comportamiento o la interacción entre órganos. El principio del reemplazo nos dice que, siempre que exista una alternativa válida, el uso de animales debe ser el último recurso.

REDUCCIÓN: MENOS ANIMALES, MÁS CIENCIA

Reducir el número de animales no significa y no implica reducir la calidad de la investigación. Al contrario, cuando se diseña un experimento con precisión y ética, se puede obtener buena información usando menos animales. Esa es la esencia de la segunda R: Reducción (Figura 2). Uno de los pilares de esta estrategia es el diseño experimental eficiente. Antes, era común repetir estudios con grandes cantidades de animales «por si acaso». Hoy, gracias a herramientas estadísticas avanzadas y software especializado, los investigadores pueden calcular con mayor exactitud cuántos animales necesitan para obtener buenos resultados. Esto evita el sufrimiento innecesario de los animales. Además, compartir datos y recursos también desempeña un papel importante. Por ejemplo, si un grupo de científicos ya evaluó los efectos de un compuesto en un modelo animal, ¿por qué repetir el mismo experimento si esa información ya está disponible? Otro aspecto importante es el uso de modelos animales comparables con otros. En vez de realizar muchos experimentos pequeños con diferentes especies, se pueden diseñar estudios más integrados en un solo modelo bien estudiado, como el ratón transgénico o el pez cebra, optimizando así el uso de cada animal. La reducción no se trata solo de usar menos, sino de hacer más con menos,

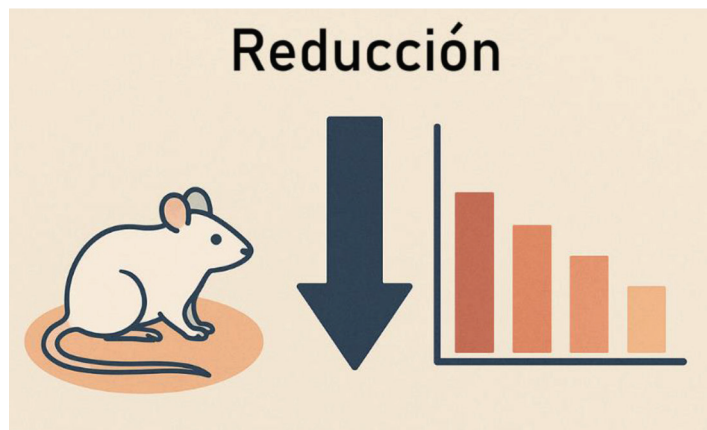


Figura 2. Generada con la IA ChatGPT.

cuidando tanto la calidad de la ciencia como el respeto por la vida animal.

REFINAMIENTO: ALIVIAR EL SUFRIMIENTO EN NOMBRE DEL CONOCIMIENTO

Hay experimentos en los que el uso de animales aún no puede evitarse, eso no quiere decir que su sufrimiento no se evite. La tercera R, Refinamiento (Figura 3), nos dice que, cuando usamos animales, debemos hacerlo con mucha responsabilidad, buscando siempre reducir el dolor y el estrés. Esto comienza mucho antes de la etapa de experimentación. El refinamiento abarca todo el ciclo de vida del animal en el laboratorio: desde el transporte, el alojamiento, la aclimatación y la alimentación, hasta el procedimiento experimental. Pequeñas acciones pueden hacer muchas diferencias: un espacio más amplio, enriquecimiento ambiental, luz y temperatura adecuadas, todo esto cuenta. Durante los procedimientos, se aplican algunas técnicas para reducir el sufrimiento. Un ejemplo de ello es el uso obligatoria en varios países de anestesia y analgesia en cirugías o manipulaciones dolorosas. También se han encontra-

Refinamiento

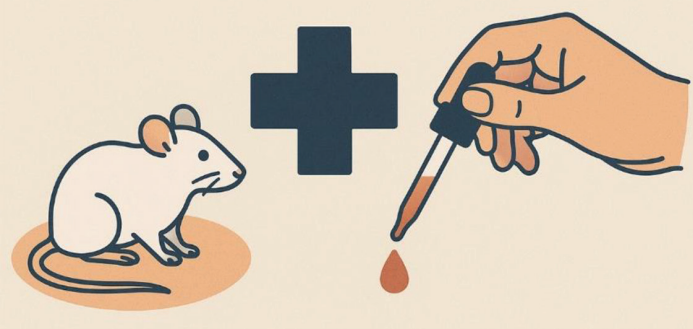


Figura 3. Generada con la IA ChatGPT.

do métodos menos invasivos, como la toma de muestras de sangre sin necesidad de sacrificio, o técnicas de imagen que permiten observar lo que pasa dentro del cuerpo sin abrirlo. Por otra parte, los investigadores y el personal técnico reciben cada vez más formación en el manejo humanitario y reconocimiento del dolor en diferentes especies. No es lo mismo trabajar con ratones, conejos o peces, y entender sus comportamientos naturales ayuda a detectar signos de sufrimiento antes de que sea demasiado tarde. Una parte importante del refinamiento también implica saber cuándo detener un experimento. Si el animal presenta signos de sufrimiento intenso, debe aplicarse una muerte digna. Refinar, en pocas palabras es recordar que toda vida es importante, incluso en un entorno donde se busca conocimiento. La ciencia ética no se mide nada más por los resultados, sino también por la forma en que se obtienen.

¿QUÉ DICE EL MUNDO? LAS 3RS EN LA LEGISLACIÓN INTERNACIONAL

Las 3Rs no son solo una sugerencia ética: muchos países la han convertido en una obligación legal. Desde organismos internacionales

hasta gobiernos nacionales, el compromiso con el bienestar animal en la ciencia se ha plasmado en leyes, normativas y directrices que exigen a los investigadores cumplir con los principios. Uno de los marcos más influyentes es la Directiva 2010/63/UE de la Unión Europea, considerada una de las más estrictas en protección animal. Esta ley establece que solo se puede usar un animal en investigación si no hay alternativa y obliga a demostrar que se aplican las 3Rs en cada proyecto. Además, requiere la evaluación ética previa por comités especializados y la capacitación obligatoria del personal que trabaja con animales. En Estados Unidos, el Animal Welfare Act (AWA) y las guías del National Institutes of Health (NIH) también exigen prácticas que se basan en las 3Rs, especialmente instituciones que reciben fondos públicos. Canadá, Australia, Nueva Zelanda y otros países han desarrollado regulaciones que se apegan a las 3Rs como parte del proceso científico. Incluso organizaciones internacionales como la OCDE han incorporado métodos alternativos en sus guías de pruebas toxicológicas, aceptando modelos *in vitro* y simulaciones computacionales como parte de la evaluación de riesgos. Aunque el avance no ha sido el mismo en todos los países, la tendencia es clara: la ciencia moderna no puede avanzar sin considerar el bienestar animal, y las 3Rs se están consolidando como una base ética y legal indispensable en todo el mundo.

MÉXICO Y LAS 3RS, ¿CÓMO VAMOS?

En México, el debate sobre el uso ético de animales en la ciencia ha cobrado fuerza en los últimos años. Aunque aún hay muchos desafíos por superar, el principio de las 3Rs ya está pre-

sente en la práctica de varias instituciones académicas y de investigación. La base legal más importante es la Ley General de Salud y su reglamento en materia de investigación para la salud, que establece que toda investigación con animales debe justificar su uso y evitar el sufrimiento innecesario. Además, la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 establece las especificaciones técnicas para el cuidado y uso de animales de laboratorio. En ella ya se incluyen elementos de refinamiento y reducción, aunque no se mencionan literalmente las 3Rs. Por otro lado, cada vez más universidades, centros de investigación y comités de ética están adoptando políticas que exigen aplicar las 3Rs como criterio de evaluación de proyectos. Además, en congresos de ciencias biológicas, médicas y veterinarias, el tema del reemplazo de animales por métodos alternativos comienza a ganar protagonismo. Se presentan estudios con cultivos celulares, simulaciones computacionales y modelos alternativos como el pez cebra en etapas embrionarias, que no está regulado en la legislación actual, pero ofrece una opción viable y ética para ciertos estudios. Sin embargo, todavía existe una gran desigualdad en la implementación de las 3Rs. Algunas instituciones carecen de comités éticos funcionales, y la capacitación en bioética y bienestar animal no siempre es obligatoria. También falta mayor inversión en métodos alternativos validados y en difusión científica sobre el tema. Aun así, México avanza. El compromiso de investigadores jóvenes, profesores conscientes y una sociedad civil más informada está empujando hacia una ciencia más ética. Las 3Rs no son solo una obligación, sino una oportunidad para mejorar la calidad de la investigación y el respeto por la vida.

EL PEZ CEBRA Y LAS NUEVAS FRONTERAS EN BIOÉTICA

Pequeño, transparente y con apenas unos milímetros de largo, el pez cebra (*Danio rerio*) (Figura 4) se ha convertido en uno de los modelos animales más populares en la investigación científica actual. No es solo por su tamaño: este pez está abriendo nuevas fronteras en bioética, especialmente en lo que se refiere al principio de Reemplazo. Una de sus grandes ventajas es que, durante las primeras horas de vida, los embriones no tienen sistema nervioso completamente desarrollado, por lo que no pueden sentir dolor en etapas tempranas. Esto ha llevado a que, en muchas normativas internacionales, las larvas antes de los 5 días después de la fertilización no estén reguladas como animales protegidos. O sea que, pueden usarse como modelo sin violar principios éticos ni requerir aprobación de comités de ética animal. Además, sus embriones son transparentes, lo que permite observar todo el desarrollo de sus órganos mediante un microscopio sin ser tan invasivos. Esta característica lo convierte en una herramienta valiosa en

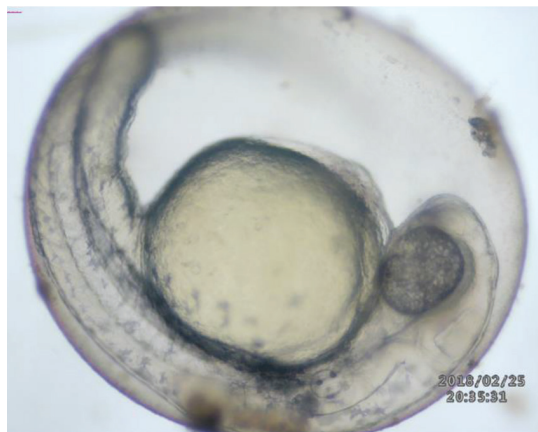


Figura 4. Embrión de pez cebra aproximadamente de 25 horas de desarrollo.

áreas como la toxicología ambiental, la farmacología y la genética. Gracias a sus cualidades, el pez cebra se ha posicionado como una alternativa parcial a modelos vertebrados más complejos como ratones o ratas, especialmente en etapas tempranas. Incluso se ha convertido en el modelo preferido para evaluar los efectos de contaminantes y fármacos en etapas del desarrollo, sin necesidad de utilizar mamíferos desde el inicio. Por supuesto, a medida que el pez crece y desarrolla sensibilidad, sí entra en la categoría de animal vertebrado protegido, por lo que los principios de reducción y refinamiento vuelven a aplicarse. En ese punto, debe recibir el mismo trato ético que cualquier otro animal de laboratorio.

¿ES POSIBLE UNA CIENCIA SIN ANIMALES?

Soñar con una ciencia completamente libre de animales puede parecer utópico, pero es una pregunta que surge cada vez más. La evolución tecnológica, los cambios legales y, sobre todo, la presión ética de la sociedad, están impulsando una transformación sin precedentes. En los últimos años hemos visto cómo los avances en inteligencia artificial, biología sintética, edición genética y simulaciones computacionales están logrando lo que hace dos décadas parecía imposible: predecir efectos tóxicos, modelar enfermedades humanas y probar tratamientos sin necesidad de experimentar con animales. En este contexto, las 3Rs ya no son solo una guía ética: se están convirtiendo en una plataforma de innovación científica. Las empresas farmacéuticas, por ejemplo, están invirtiendo en métodos alternativos no solo por ética, sino porque son más rápidos, menos costosos

y, muchas veces, más predictivos de lo que ocurrirá en humanos. Sin embargo, aún no hemos llegado al punto donde todos los modelos animales puedan ser reemplazados. Hay áreas complejas, como el estudio del comportamiento, la neurociencia o las interacciones entre órganos, donde las tecnologías actuales no logran reproducir completamente lo que ocurre en un ser vivo. Pero el camino ya está trazado, y el progreso es cada vez más acelerado. ¿Será posible una ciencia libre de animales? Tal vez no en un futuro inmediato, pero lo que sí es posible es una ciencia que los use solo cuando sea absolutamente necesario. Más que una utopía, el fin del uso de animales en la ciencia es una meta alcanzable.

LITERATURA RELEVANTE

- Directiva 2010/63/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de septiembre de 2010, relativa a la protección de los animales utilizados para fines científicos Texto pertinente a efectos del EEE, EP, CONSIL, 276 OJ L (2010). <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/63/oj/spa>
- Hubrecht, R. C., & Carter, E. (2019). The 3Rs and Humane Experimental Technique: Implementing Change. *Animals: an Open Access Journal from MDPI*, 9(10), 754. <https://doi.org/10.3390/ani9100754>
- Teame, T., Zhang, Z., Ran, C., Zhang, H., Yang, Y., Ding, Q., Xie, M., Gao, C., Ye, Y., Duan, M., & Zhou, Z. (2019). The use of zebrafish (*Danio rerio*) as biomedical models. *Animal Frontiers*, 9(3), 68-77. <https://doi.org/10.1093/af/vfz020>

Apuntes sobre mi experiencia con *El efecto SUAM. Teoría y práctica de la narrativa de la vida feliz en la tercera edad.*

César Gilabert, Gabriela Scartascini y Luis Mario Fernández.

(2024) Universidad de Guadalajara

Flor Micaela Ramírez Leyva

No debemos temer a la muerte, sino a vivir mal. Sócrates

De inicio a fin, este libro invita a sumergirse en las sorprendentes aguas de un compromiso con la vida y con el buen vivir y morir.¹ El sólido prólogo de Jorge Javier Romero Vadillo, titulado «Un apunte melancólico y sereno sobre la vejez», permite apreciar las cualidades del libro, una obra integral, no sólo por la idónea complementariedad de enfoques filosófico, sociológico y político, sino por integrar las dimensiones teórica y práctica. Su logrado contenido incorpora ingredientes para dialogar y deleitar a sus lectores, elementos tales como la trayectoria y lúcida memoria de su principal autor, una experta mirada sobre el fenómeno y las experiencias del vivir, con sus claroscuros y su complejidad. Su narrativa expone incluso los lados socio-económico y psicosocial de una

de las etapas más temidas y manipuladas del ser humano: su ocaso.

En la primera parte, se hallan las pinceladas de una Filosofía de la muerte, cuya encomienda es justo vivir al máximo. La importancia de la narrativa, del poder de la palabra, es un segmento que da cuenta de la necesidad y el valor del lenguaje y de la expresión puntual, sin concesiones, pero fecunda: un reconocimiento de la magia de conectar las vivencias con las historias, entendiendo el potencial de la semántica, que para Pinker trata de la relación de las palabras con los sentimientos. De esta importancia profundiza el Capítulo 2, haciendo una reconstrucción del concepto de la vejez; y ahí mismo Gilabert narra a propósito del nacimiento del SUAM:

Departamento de Psicología, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, México.

¹ Este libro es el último de la trilogía de Gilabert, que comienza en 2016 con *Vida de primera en la tercera edad. Reflexiones sobre la vejez*. Guadalajara, La Casa del Mago, al cual le siguió, en 2018, *Por el camino del SUAM. Una narrativa feliz contra el olvido y la indolencia*.

Recibido: 10/06/2025

Aceptado: 15/09/2025

Publicado: 29/09/2025

la labor que está realizando la Universidad de Guadalajara a través del Sistema Universitario de Adultos Mayores, que en el semestre escolar 2024 B cumple 10 años, de la cual no pretendo hacer ahora mismo una evaluación, sino simplemente puntualizar la forma en que el SUAM aborda la cuestión del encargo social de ampliar el radio de acción de la Universidad a fin de atender a un estrato social específico con un programa especial (p. 88).

Una de las cualidades más apreciadas de esta obra son los relatos de excepcionales personajes de la amplia biblioteca personal de Gilabert, autor principal: Albert Camus, Houellebecq, Leopardi, Pessoa, Freud, Coetzee, Serrat, Kundera, Kawabata, Botero, Wilde, entre otros maravillosos escritores. Encontramos, además, alusiones a las contribuciones de brillantes poetas, artistas, científicos y hasta de figuras públicas como Cristina Pacheco. Menciones honestas de sus contemporáneos, colegas e incluso confidencias sobre sus propios hijos. Pinceladas de ternura en medio de los brutales escenarios develados acerca del vivir, envejecer o en palabras del propio César Gilabert: «desjuvenecer» y morir. Frases exquisitas, cierres magistrales, mirada perspicaz y crítica en cada capítulo las líneas de César son una invitación a aquilatar la vida propia y ajena, más allá de juicios embusteros o simplistas.

Dedica los Capítulos 3 y 4 a la filosofía de la muerte y las meditaciones sobre la vejez. Nos ofrece claros retratos sobre el lugar que esta sociedad otorga o «le relega» a los viejos. Deja claro que lo peor no es la muerte, sino el morir anticipadamente al no saber vivir. En ese tenor, esclarece las dádivas y pérdidas con

la muerte, revisitando la figura del Giacomo Leopardi. Una de las relaciones fecundas en el libro es la del tiempo, la historia (la memoria) y la vejez, que ilustra a través de *La ignorancia* y el re o desencuentro con (el)los otros.

El recuento, la evaluación de lo vivido, el examen de lo hecho y la siempre tarea inconclusa de la autorrealización personal de pronto llega a cada persona como una oportunidad para encontrar en ese ejercicio reflexivo de la memoria materiales de subsistencia en una etapa definitiva y definitiva de la existencia personal (p. 112).

Una de las frases más tranquilizantes para alguien como yo, quien se encuentre cercano, si lo logramos, a convertirnos en adultos mayores es: «La vejez arrebató más de lo que deja, pero lo que concede, aunque poco, puede tomarse por bastante si uno lo sabe manejar con inteligencia y humildad» (p. 100). El contenido de este libro es a un tiempo revelador y esperanzador. Comparte ciertos claroscuros de la existencia descritos por otros grandes escritores, cuya reflexión es cómo el ser humano llega al punto de aceptar la vida a pesar de su carácter efímero, aun cuando esa condición mortal, pudiera «hacer a la vida, con efectos retroactivos –es decir, lejos aún del momento final y de su consecución, simplemente indigna de ser vivida, si no la priva de su valor o de su sentido, si no le quita y le arrebató todo el sentido» (Frankl, 2022, p. 7). Frente a ello, Viktor Frankl (p. 14) recurre a la alternativa de la *posibilidad*, la cual, al consumarla la «hacemos imperecedera: le conferimos no solo efectividad, sino también eternidad». Por ello, al final, las apuestas de Frankl y Gilabert coinciden

en dar valor a la posibilidad de una existencia auténtica, responsable y plena. En *El efecto SUAM*, el desafío al lector es, aún aceptando «la idea de la muerte como una condición existencial ineludible, empeñar toda su energía en vivir al máximo de las posibilidades para lograr la mejor versión de sí mismo» (p. 119).

Como un hombre de su tiempo, consciente de los claroscuros de la sociedad y de la escena pública, hace recuento de diversas figuras en distintos campos, incluso en el deportivo, y de los condicionamientos en algunas etapas de la vida. Exponiendo la evolución de la problemática sociodemográfica y la insuficiencia del sistema político, los autores sostienen que «la infraestructura material y de recursos humanos para atender las necesidades específicas de la vejez siguen siendo atrozmente deficitarias» (p. 134). En ese sentido, denuncian la enorme deuda que el gobierno ha tenido en términos de profesionales especializados en geriatría y gerontología, entre otras delicadas deficiencias en temas de salud, habitación y recreación vinculadas a las demandas de los adultos mayores, por señalar ciertos temas pendientes como las políticas culturales y sociales.

Pluma ágil que convoca otras plumas. Ya lo dijo un artista: somos tierra de otras tierras y un constante sentido práctico «cultivar el compromiso con la vida significa ampliar las fuerzas de la vida misma» (p. 45). Su clara orientación a una profunda, a veces cruda, pero en todo caso desafiante reflexión sobre la vida y la muerte, no abandona el humor. En un fragmento, Gilabert cita a Albert Camus «Dentro de este cuerpo que envejece hay un corazón todavía tan curioso, tan hambriento, todavía tan lleno de anhelo como lo estaba en la juventud» (p. 132). Eso que la inteligencia

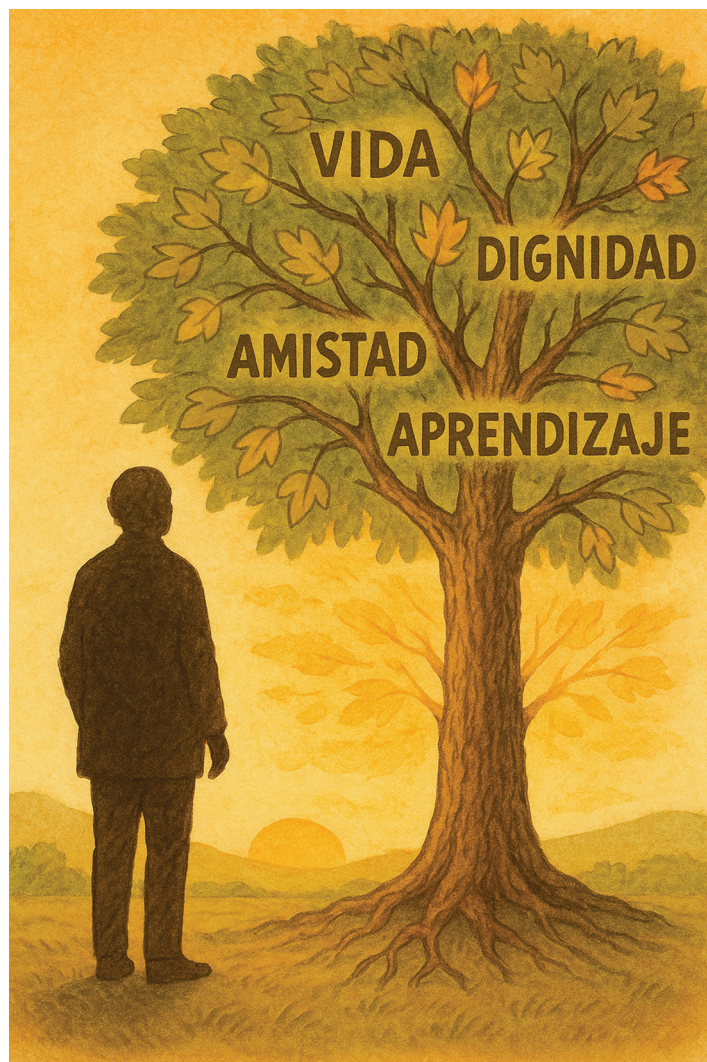


Figura 1. Generada con la IA ChatGPT.

social expresada en el lenguaje cotidiano califica como individuos «chavos-rucos», que luego serán «rucos-rucos» y en definitiva «momiza». Nos recuerda una frase de dominio público: «Cuando envejezca no quiero parecer más joven, sino lucir más feliz».

En la segunda parte: El Capítulo 5 ofrece un análisis de un modelo de vida exitoso en los alumnos del SUAM, que comenzó en Guadalajara, pero que precisamente en Puerto Vallarta el CUCosta lo ha llevado con un impacto sobresaliente en la calidad de vida de las perso-

nas inscritas, entre las cuales me cuento: dado que he tomado 2 talleres: Tango y Yoga. Algunos fragmentos dejan ver el hondo compromiso social de Gilabert y sus coautores, tocar la realización personal en comunidad, como significado del sentido de vida. Este libro no duda en referirse a los adultos mayores como personas capaces de luchar contra las deficiencias y obstáculos y asumir un compromiso de vida en pos de su autorrealización, porque bien dice: la noción de dignidad se experimenta fundamentalmente en la forma de vivir. Lo dicho se sustenta en la descripción de las estimulantes cualidades de los alumnos, en quienes aprecian: «el sentido de responsabilidad social, la motivación, el deseo de aprender y las ganas de vivir». Además, se les reconoce su valiosa contribución en «la publicación de libros tanto de narrativa como de poesía, en exposiciones, obras de teatro, coros, coreografías» (p. 94). Por cierto, el autor percibe cómo los adultos mayores enriquecen sus relatos de vivencias propias, con una nueva mirada, generada a partir de la experiencia y la interacción en la Universidad. Un breve reporte de investigación acerca de la trayectoria del SUAM enriquece el capítulo, destacando que en su mejor momento, el programa llegó a contar con 200 alumnos inscritos, creciendo un 400 por ciento, respecto a sus inicios, con una oferta de 35 cursos (más del doble que al comienzo), distribuidos en 6 cursos en el área de Salud y Desarrollo, 9 en el área de Humanidades, 4 en el área de cómputo e idiomas, y 12 en el área de Artes y Recreación (p. 141). No obstante, después de la pandemia, se observó una elevada disminución, y que desafortunadamente, debido a diferentes razones, no se ha logrado remontar. Otro dato llama la atención los po-

sitivos impactos del Programa SUAM (por ej. la mejoría de las relaciones interpersonales o en la motivación) registrado en las respuestas a una encuesta efectuada a los pocos alumnos que se han mantenido o se han incorporado recientemente.

En el Capítulo 6 escrito junto con Gaby Scartascini se pueden observar las percepciones de los profesores del SUAM: Coral Jordá, Eleanor Hawthorn; Claudio Vázquez, Edmundo Andrade, José Luis Ramos, Adrián Pelayo y la propia Gabi. Dichas valoraciones también nos brindan un retrato de la enriquecedora experiencia de cada responsable con sus muy dedicados alumnos, así como de algunas áreas de oportunidad o aspectos que requieren mayor atención por parte de la institución, tales como la necesidad de contar con mejores recursos e instalaciones, o sea, un presupuesto fijo para garantizar su gestión y operación. También señalan algunas cuestiones que han limitado mantener o robustecer la oferta de los cursos, como el hecho de que sólo la mitad de los inscritos asiste regularmente a los cursos, por diversas circunstancias de vida, economía y salud. Ese capítulo cierra jubilosamente con tres testimonios de alumnas que cursaron,

entre otros talleres, el de Historia Oral impartido por la docente Gabi Scartascini y el Taller de la Narrativa Feliz. Diez años después, en 2024, continúan participando activamente con actitud resiliente y asertiva. Leer sus testimonios nos aleja de la invisibilidad y el olvido, conceptos que, entre los adultos mayores, a veces son palabras recurrentes (p. 168).

El navegar por las líneas de esta obra vuelve una intensa aventura porque al pasar de una página a otra, de un escenario a otro, de una voz a otra, se haciendo gala de un vocabulario preciso y experto en figuras. *El efecto SUAM* tiene el acierto de encontrarse habitado por diversas voces: no sólo la de los propios autores. Guardadas las debidas proporciones el trabajo de Gilabert comparte cualidades atribuidas a John Ruskin, de quien se reconoce su vasta gama de intereses y logros: artista, crítico de arte, geólogo aficionado, profesor, escritor, crítico social y filósofo; y quien acuñó la frase: «El mayor bien que podemos hacer a otros no es ofrecerles nuestra riqueza, sino descubrirles la suya propia».

En buena medida *El efecto SUAM* y, particularmente, el Seminario de la narrativa de la vida feliz, hace eso mismo con sus estudiantes y participantes: revelarles su propia riqueza. Lo dicho puede constatarse en el Capítulo 7, integrado por los relatos autobiográficos de alumnas de dicho seminario: Carolina Lepe, Ana María Espinoza, Yvonne Rangel Machain, Lupita Herrada Sánchez, María Esther Granados Montiel, Patricia Pelayo, Candalaria Hernández, María del Carmen Castañeda (Carmelita), Gloria del Carmen Leyva Rábago y María Elena Salgado. Hermosas y honorables historias plenas de significado, emoción, algunas con fragmentos de dolorosas realidades, pero también interesantes reflejos de momentos inspiradores para la vida de sus autoras

alumnas de este seminario a cargo del profesor Gilabert desde su comienzo.

Para cerrar, sirva uno de los aportes de Heidegger en la prosa de Gilabert, quien con total honestidad señala las dos únicas rutas: ser auténticos o inauténticos, sin desconocer la fatalidad, porque la muerte es «la posibilidad de todas las posibilidades». Eso trae a la memoria el cartón de Charly, quien resignado le dice a su amigo: «Un día nos vamos a morir Snoopy», a lo que éste le responde: «Cierto Charly, pero los otros días no». Ante las sentencias de Heidegger, César Gilabert, escribe que el carácter inminente de la muerte «no quita, mientras tal fatalidad acontece, la posibilidad de que en otros muchos días tengamos la oportunidad de vivir, jugar, amar, entristecernos, enfermarnos, recuperar la salud y la alegría, y si sumamos muchas jornadas, hasta tendremos tiempo de envejecer» (p. 103).

LITERATURA RELEVANTE

- Frankl, V. (2022) *Asumir lo efímero de la existencia*. (Cuesta, M. Trad.). Herder Editorial.
- Gilabert, C., Scartascini, G., y Fernández, L. M. (2024). *El efecto SUAM. Teoría y práctica de la narrativa de la vida feliz en la tercera edad*. Universidad de Guadalajara. <http://www.cuc.udg.mx/es/el-efecto-suam-teoria-y-practica-de-la-narrativa-de-la-vida-feliz-en-la-tercera-edad>

La creación artístico-literaria infantil, un sendero de luz

Ismary Marrero Rabí y Leyris Guerrero Mora

*Dad a los niños amor, más amor, y aún más amor,
y entonces los buenos modales vendrán solos.*

Astrid Lindgren

RESUMEN. La creación literaria infantil –ya sea hablada o escrita– desde edades tempranas representa un puente vital para que los niños desarrollen su imaginación, expresen ideas y emociones, y construyan sensibilidad estética. En muchas escuelas, la escritura creativa se ve limitada por reglas rígidas, falta de libertad temática o escasa orientación literaria. Por ello proponemos un sistema de talleres literarios adaptados a la enseñanza primaria, que funcione como complemento y espacio cultural. Estos talleres no sólo promoverían la participación libre en la creación de textos, sino que también fortalecerían competencias lingüísticas, cognitivas y poéticas. El modelo que sugerimos puede servir tanto para instructores en casas de cultura como para docentes de Español-Literatura en la escuela.

Palabras clave: taller literario, estética, imaginación creadora.

IMAGINANDO MÁS ALLÁ DE LAS PALABRAS

La escritura creativa –ya sea contando historias en voz alta o plasmándolas en papel– es más que un juego: es un puente vital para que los niños sueñen, expresen lo que sienten y descubran su propia voz. En muchas aulas, sin embargo, esa libertad se ve atrapada por reglas rígidas, temas impuestos o poca guía inspiradora.

Para romper esos muros, proponemos un sistema de talleres literarios pensados para niños de primaria, que funcione como un espacio complementario y cultural. No solo para crear textos, sino para fortalecer habilidades de lenguaje, pensamiento y sensibilidad estética. Este modelo puede ser útil tanto para docentes como para instructores culturales.

Recibido: 11/08/2025

Aceptado: 01/10/2025

Publicado: 02/10/2025

Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona, Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas La Habana, Cuba.

¿POR QUÉ LOS TALLERES LITERARIOS SON UNA EXCELENTE IDEA?

Desde diversos enfoques –como el cognitivo, el comunicativo y el sociocultural– se ha comprobado que los talleres literarios ayudan a los niños a:

- Disfrutar de la literatura como experiencia, no solo como obligación.
- Ampliar su mundo cultural, artístico y emocional.
- Mejorar habilidades de escritura, lectura y reflexión.

Pero en la práctica, cuando queremos llevar esto a las aulas, surgen obstáculos: poca libertad temática, desconocimiento de géneros literarios y carencia de textos guía.

CÓMO DISEÑAR TALLERES QUE ENAMOREN A LOS NIÑOS

Algunas claves:

- Temas libres o sugeridos con margen: permitir que los niños elijan de qué hablar, dentro de ciertos ejes, genera motivación.
- Textos guía accesibles: ejemplos breves, atractivos y adaptados al nivel del grupo.
- Espacios de diálogo y error: crear un ambiente seguro donde «fallar» sea parte del proceso creativo.
- Actividades variadas: microcuentos, colaboraciones, improvisaciones orales, cómics literarios.
- Integración con la escuela: estos talleres pueden funcionar como actividad extraescolar o dentro del horario, si se adaptan a los retos del currículo.

RETOS QUE HAY QUE SUPERAR (Y CÓMO ABORDARLOS)

- Resistencias institucionales: algunas escuelas prefieren lo tradicional. Se puede empezar con pruebas piloto pequeñas para mostrar resultados.
- Tiempo limitado: dividir los talleres en sesiones cortas.
- Falta de formación docente: ofrecer talleres de capacitación para maestros.
- Recursos limitados: usar materiales accesibles (cuadernos, lápices, recortes) y fomentar la colaboración entre escuelas.

LA GRAN PREGUNTA QUE NOS MUEVE

En muchas aulas de un municipio de La Habana, Cuba, llamado Marianao, los niños escriben solo cuando se les pide, a menudo bajo indicaciones rígidas. Pero la literatura, cuando nace de la curiosidad y el juego, puede ser un puente hacia la imaginación, la cultura y la identidad.

LA PREGUNTA QUE GUÍA NUESTRO TRABAJO ES SENCILLA PERO PODEROSA:

¿Cómo podemos hacer que los talleres literarios ayuden de verdad a que los niños de primaria se sientan creadores y no solo cumplidores de tareas?

Nuestra meta es clara: diseñar un sistema de talleres de creación literaria que despierte la creatividad y mejore la calidad de los textos que los niños producen, dentro y fuera de la escuela.



Figura 1. Generada con la IA ChatGPT.

ESCUELA Y CULTURA: UN MISMO CAMINO

En Cuba, la cultura ha sido vista desde hace décadas como parte esencial de la educación. Desde los años setenta, las casas de cultura han promovido la lectura, la escritura y las artes en barrios y comunidades.

Sin embargo, muchas veces ese valioso trabajo queda separado de la escuela. Queremos tender puentes: que los talleres literarios que se realizan en las casas de cultura inspiren y fortalezcan también la enseñanza formal de Español-Literatura, para que la cultura sea un hilo continuo en la formación de los estudiantes.

CREAR NO ES SOLO ESCRIBIR: ES SENTIR Y COMUNICAR

Antes de hablar de métodos y actividades, conviene detenerse un momento en lo que entendemos por creación literaria.

Escribir un cuento o un poema no es simplemente poner ideas en palabras. Es jugar con ellas: usar metáforas, ritmos, símbolos, sonidos que evocan sensaciones. Es darle al lenguaje un poder especial, capaz de emocionar y de invitar a que el lector complete la historia con su propia experiencia.

La literatura, como forma de arte, nos conecta con la belleza y también con los problemas de la sociedad. Nos ayuda a mirar nuestro tiempo desde otros ojos, a imaginar mundos distintos y a reflexionar sobre el propio.

LA LITERATURA COMO EXPERIENCIA VIVA

Los niños, al narrar o recitar, descubren que las palabras no solo comunican hechos: también pueden crear mundos, expresar emociones y despertar preguntas. Eso es lo que la hace distinta de otros tipos de textos. No se limita a informar; busca recrear, sugerir, emocionar.

En los talleres literarios, ese descubrimiento se transforma en práctica: los niños aprenden que escribir es mucho más que cumplir una consigna escolar. Es una forma de participar en la cultura, de contar su barrio, su familia, sus sueños y de aportar algo propio al mundo.

CADA NIÑO MIRA EL ARTE CON SUS PROPIOS OJOS

Cuando un grupo de niños lee el mismo poema, cada uno descubre algo distinto: uno se ríe de las rimas, otro se emociona, otro recuerda a su abuela. Eso ocurre porque la apreciación artística es profundamente personal. Está mar-

cada por lo que cada uno ha vivido, por su cultura, por lo que imagina.

Esta diversidad de miradas es un tesoro. En un taller literario se convierte en una fuerza creativa: los niños aprenden a escuchar las percepciones de otros y a reconocer que sus propias ideas tienen valor. Así, el taller no solo forma pequeños escritores, sino también personas capaces de dialogar y de construir juntos.

PILARES QUE INSPIRAN LA CREATIVIDAD INFANTIL

Vygotsky: crecer en compañía

El psicólogo Lev Vygotsky enseñó que aprendemos mejor cuando alguien nos acompaña y nos guía. Llamó a esto la *zona de desarrollo próximo*: aquello que un niño no logra solo, pero sí con la ayuda de un adulto o de un compañero con más experiencia.

En un taller literario, esa guía puede ser un maestro que lanza preguntas, propone retos y, sobre todo, da libertad. No dicta lo que hay que escribir, sino que ayuda a que el niño se atreva a cruzar nuevas puertas.

Piaget: el juego que hace nacer mundos

Jean Piaget mostró que el conocimiento infantil surge del juego y la exploración. Un palo puede ser una varita mágica, una caja un barco, una palabra un portal a otros mundos.

En los talleres, el juego simbólico es un motor creativo: escribir es jugar con ideas, transformar lo cotidiano en fantástico. Al nutrir esa imaginación, los niños aprenden a mirar su entorno con ojos curiosos y creativos.

Rodari: el poder de lo inesperado

El escritor y pedagogo Gianni Rodari dedicó su vida a abrir la imaginación de los niños. En su famoso libro *Gramática de la fantasía* enseñó técnicas como el binomio fantástico: tomar dos palabras que parecen no tener relación (por ejemplo, «flor» y «teléfono») y usarlas como semilla de una historia.

Este tipo de ejercicios rompe rutinas, despierta asociaciones sorprendentes y demuestra que cualquier palabra puede ser el inicio de un cuento. Rodari defendía que la imaginación debía ser un derecho, no un privilegio.

Sneider Saavedra: dar voz a los pequeños autores

El pedagogo colombiano Sneider Saavedra recuerda que los niños no son aprendices de escritores: son autores con voz propia.

Propone que los adultos acompañemos esa voz sin sofocarla con correcciones excesivas.



Figura 2. Generada con la IA ChatGPT.

Las faltas ortográficas se pueden ajustar, pero lo primero es preservar la frescura, la espontaneidad y el sentido poético que brota en la infancia.

Evaluar la creación infantil no debe reducirse a tachar errores; debe reconocer la emoción, la imaginación y la mirada singular que cada niño aporta al lenguaje.

UN TALLER COMO LABORATORIO DE MUNDOS

Con estos fundamentos, un taller literario infantil no es solo un espacio para escribir, sino un laboratorio de experiencias estéticas y sociales. Los niños no solo aprenden a expresarse: aprenden a escuchar, a compartir, a respetar otras formas de ver y de decir.

De ese modo, la literatura deja de ser un ejercicio escolar para convertirse en una aventura colectiva, donde cada historia escrita es también una historia de crecimiento personal.

ENCUENTROS Y DESENCUENTROS ENTRE LOS GRANDES PENSADORES

Cuando reunimos a Vygotsky, Piaget, Rodari y Saavedra, no estamos frente a un debate cerrado, sino a un mosaico de ideas que dialogan entre sí.

Coinciden en algo esencial:

- La imaginación es una fuerza vital, no un lujo.
- El valor del proceso creativo –el juego, la exploración, el ensayo y error– es tan importante como el producto final.
- Los talleres literarios deben ser espacios libres y lúdicos, donde los niños no se limi-

ten a imitar modelos, sino que se atreven a inventar.

- El adulto es guía, no juez ni director, un acompañante que sugiere y anima.

Pero también surgen preguntas que valen la pena debatir:

- ¿Cómo orientar sin imponer? Guiar sin cortar alas creativas es un arte delicado.
- ¿Cómo evaluar una creación literaria sin ahogar la voz del niño bajo reglas técnicas? La propuesta de evaluación artística y formativa de Saavedra ofrece pistas.
- ¿Debemos insistir en los géneros tradicionales –poema, cuento, teatro– o abrir la puerta a que los niños mezclen formatos y creen los suyos?

EL MAESTRO COMO ALIADO DE LA IMAGINACIÓN

Los niños guardan mundos inmensos dentro de sí. Si el docente los sabe ver y acompaña con confianza, esos mundos se transforman en palabras, cuentos, poemas. José Martí lo resumió con lucidez: «Los niños saben más de lo que parece; si les dijeran que escribieran lo que saben, muy buenas cosas que escribirían».

El taller literario ofrece un entorno seguro y motivador: allí el niño escribe por gusto, inspirado por su mundo interior, mientras el profesor propone, sugiere y acompaña sin imponer moldes.

Para que esto sea posible, el maestro necesita sensibilidad, empatía y apertura, además de conocimientos técnicos. Debe comprender los sueños, temores e inquietudes de los niños, y conducir el taller con dinamismo, creatividad y ausencia de dogmas.

POR QUÉ LOS TALLERES LITERARIOS TRANSFORMAN LA INFANCIA

Más que un rincón para escribir, los talleres literarios son espacios de desarrollo integral. Su aporte va más allá de la escritura:

1. Pensamiento y lenguaje más ricos. Los niños analizan textos, reflexionan sobre sus propias historias y amplían su vocabulario. Esto fortalece la lectura crítica y la escritura.
2. Entender lo complejo y expresar emociones. La literatura permite explorar grandes temas –justicia, libertad, miedo, amor– de manera simbólica y segura. Así los niños aprenden a reconocer y procesar emociones.
3. Empatía y visión social. Al vivir las historias de personajes distintos a ellos, descubren otros puntos de vista y desarrollan apertura emocional.
4. Confianza y autoestima. Ver sus obras terminadas, recibir aplausos o leer en público fortalece la seguridad en su propia voz.
5. Sentido de comunidad. El intercambio de ideas en el taller fomenta la escucha, el respeto y el diálogo.
5. Creatividad para resolver problemas. Inventar historias y encontrar giros narrativos estimula la flexibilidad mental y la imaginación práctica.
6. Conciencia cultural e identidad. A través de las palabras, los niños reconocen su entorno cultural, lo expresan y lo comparten.

En conjunto, el taller literario ofrece herramientas para mirar el mundo con ojos propios

y expresar esa mirada con imaginación y sensibilidad humana.

REFLEXIONES FINALES

- Un taller literario para la infancia es un espacio privilegiado para descubrir la voz propia y fortalecer el gusto por la lectura y la cultura.
- No es una fábrica de escritores, sino un semillero de creatividad y humanidad.
- Integrar los talleres al currículo escolar puede cambiar la forma en que se enseña Español Literatura, poniendo la creación al centro de la experiencia educativa.

LITERATURA CONSULTADA

- Eagleton, Terry (1990). *The ideology of the aesthetic*. Blackwell.
- Piaget, Jean (1971). *Play, dreams, and imitation in childhood*. W. W. Norton & Company (obra original de 1936).
- Rodari, Gianni (1996). *Gramática de la fantasía: introducción al arte de contar historias*. Teachers & Writers Collaborative (obra original de 1973).
- Saavedra, Sneider (2018). La estética de la fantasía: una aproximación desde Jacques Rancière y la literatura de Tolkien. *Aisthesis*, (64).
- Vygotsky, Lev S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press (obra original de 1930).

Rebeldías de la evolución

Alfonso Silva Lee

RESUMEN. A lo largo de la historia natural, algunos linajes animales han tomado rumbos evolutivos insospechados, apartándose radicalmente de sus ancestros para ocupar nichos únicos y sorprendentes. Este texto presenta una serie de ejemplos de tales «rebeldías de la evolución»: cotorras neozelandesas que se volvieron carnívoras o nocturnas, hienas transformadas en delicados consumidores de termitas, cangrejos ermitaños que abandonaron el mar para trepar palmas, peces que caminan por el lodo o cazan en tierra firme, aves que aprendieron a nadar, y ranas que convirtieron las toxinas de sus presas en un mecanismo de defensa letal. A través de un recorrido narrativo y divulgativo, el autor muestra cómo la evolución, lejos de ser un proceso lineal, es una historia de adaptaciones creativas, desafíos ambientales y respuestas insólitas que han moldeado la diversidad biológica del planeta.

Palabras clave: evolución, adaptación, biodiversidad, animales insólitos, comportamiento, ecología evolutiva, selección natural.

■ ■ ■

A lo largo del tiempo han surgido, una y otra vez, animales cuya evolución tomó un rumbo nuevo, muy diferente del de sus antepasados.

A continuación, van algunos ejemplos de estas insólitas «balas perdidas». Pero son perdidas solo a medias, pues dieron en la diana de *otro blanco*: se acomodaron a vivir de una manera por entero diferente...

COTORRAS INDISCIPLINADAS

Cualquiera es capaz de reconocer una cotorra, sin importar la especie: las delata el escándalo, el despliegue de colores, y el robusto y gancho pico. Sobre todo, el pico. Quien haya observado la destreza con la que una cotorra

Recibido: 10/05/2025

Aceptado: 05/10/2025

Publicado: 22/10/2025

Alfonso Silva Lee. La Habana, 1945. Master of Sciences, biólogo-zoólogo (ictiología), 1970, Universidad Estatal de Moscú (Lomonosov). Autor o coautor de libros y numerosos artículos científicos. alfonsosl45@gmail.com

manipula semillas de girasol a fin de sacarles la almendra, habrá presenciado, en acción, una de las alteraciones más maravillosas de la evolución. A falta de manos, se vale de un único «dedo» (la musculosa lengua) y de un alicate (el pico). No hace falta oírle decir sola palabra para calificarla de «inteligente».

El talento de las cotorras para lidiar con frutos de cáscara dura (que a menudo están cargadas de toxinas potentes) es viejo, pues el fósil de un pico muy cotorroide resultó tener unos setenta millones de años de antigüedad. El pico-alicate y la lengua-dedo resultaron tan exitosos, que en la actualidad se reconocen unas cuatrocientas de estas aves, agrupadas en un mismo orden, Psittaciformes, que contiene noventa y dos géneros, reunidos en siete familias.

Si te gustan los misterios, aquí va uno bueno: hay psittaciformes a todo lo ancho de los trópicos y subtrópicos del mapamundi..., pero faltan casi por completo más allá de los 30° de latitud norte. Ni una sola especie vive, o ha vivido, en Europa, Rusia y el norte de África; y apenas tres o cuatro habitaron, hasta hace poco, la mitad sur de Norteamérica... Pero abundan muy al sur del ecuador: viven en Tasmania (a 44° S), Nueva Zelanda (a 46° S) y en la Patagonia (Chile y Argentina, ¡hasta a 55° S!).

Las tres especies que habitan la tan apartada Nueva Zelanda derivaron, decenas de millones de años atrás, de cotorras que fueron empujadas desde Australia por ventoleras extraordinarias. Dado que el archipiélago era enorme, boscoso y por entero libre de mamíferos terrestres, las inmigrantes dieron lugar a especies muy peculiares. Las cotorras son profesionales en el consumo de semillas duras,

pero las psittaciformes neozelandesas se acomodaron a otras dietas... Y a ambientes muy diferentes del tradicional.

La anatomía de las cotorras neozelandesas se ha apartó tanto de las demás, que han sido agrupadas en una familia aparte, Strigopodidae. Aun se las conoce por los nombres que les dieron los maoríes: kea, kaka y kakapo.

Por el color de sus plumajes, la kea (*Nestor notabilis*) y la kaka (*Nestor meridionalis*) ni parecen cotorras. Son de color café ligeramente verdoso, y solo al volar muestran parches anaranjados en las alas o la rabadilla. El pico de ambas, largo y afilado, más parece la garra de un águila; y su tolerancia al frío es aun más anómala. Nueva Zelanda entera tiene un clima templado, con inviernos bastante fríos (se en-

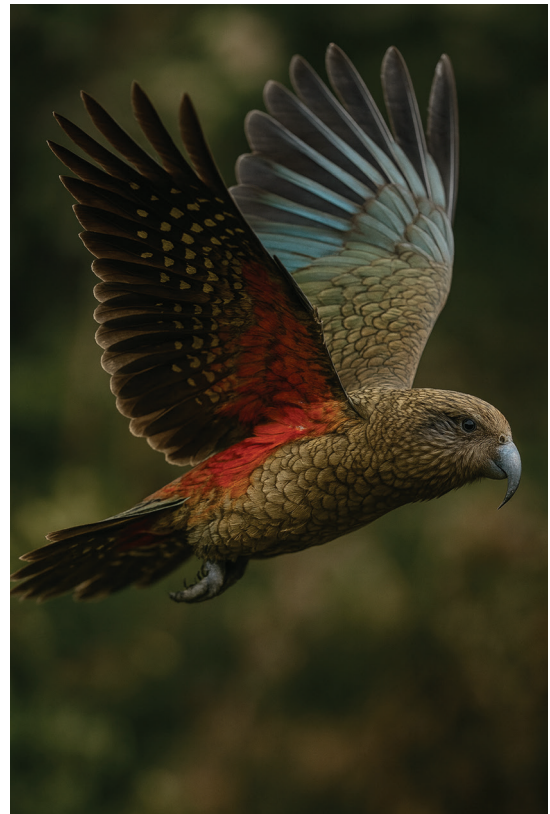


Figura 1. *Nestor notabilis*, kea. Imagen generada con la IA ChatGPT.

cuentra a la misma distancia del ecuador que España), pero la kea tolera de lo mejor los ambientes alpinos de la isla Sur (a menudo ¡pisa nieve!)... y en ocasiones se alimenta durante la noche. El nombre le viene de su llamada principal, *keeeea*.

Tanto la kea como el kaka son dos veces más pesadas que los loros amazónicos (las treinta especies del género *Amazonas*), y comen de todo: hojas, flores, nueces, frutas, raíces, larvas de escarabajos... ¡y otras aves!

El kaka ha desarrollado una lengua cerdosa, que le permite lamer el néctar de las flores; y la kea tiene una seria afición por la carne: acostumbra a recorrer los riscos donde anidan las pardelas (unas aves marinas), penetran los túneles donde esconden los nidos, y arrastran a los pichones hacia el exterior, para luego matarlos y devorarlos. Las keas andan en grupos de hasta una docena, y en los últimos siglos han aprendido a comer conejos y ovejas. Este fenómeno tan insólito –una cotorra ¡con hábitos de lobo!– le resultaba tan increíble a los pobladores locales, que fue puesto en duda a lo largo de décadas. Pero en 1993 fue confirmado mediante un video de estas carnicerías tomado durante la noche.

El ánimo inquisitivo de las keas es proverbial. Se la conoce como «el payaso de las montañas», pues se acerca a los grupos de turistas para investigar lo mismo sus pertenencias personales, que los vehículos en que han viajado. Son capaces de arrancar tiras de la goma que bordea las ventanillas..., y de llevarse cualesquiera objetos pequeños... Una de ellas cargó, para siempre, con el pasaporte de un visitante.

En comparación con las demás cotorras, el kakapo (*Strigops habroptila*) califica como un monstruo. Para empezar, es estrictamente

nocturno (en el idioma maorí su nombre significa «cotorra de la noche»), y hasta tiene cierto parecido con una lechuza. Se piensa que tanto él como la kea se volvieron nocturnos a fin de eludir los ataques de dos águilas enormes que abundaron en Nueva Zelanda hasta hace apenas unos 3500 años. Al igual que muchas lechuzas, duerme en cuevas. Las otras anomalías de *S. habroptila* están en su colorido, que es verde grisáceo, muy apagado; en su tamaño (alcanza unos 3 kg, el récord mundial entre las cotorras); y en el reducido tamaño de sus alas: es la única cotorra incapaz de volar, un lujo derivado de la total ausencia de mamíferos carnívoros en el archipiélago.

El kakapo no ha perdido, sin embargo, la facultad de trepar; y la ejercita cada noche, pues se alimenta ¡de puras hojas! Se sospecha que, al igual que las ovejas, vacas y caballos, mantenga en sus tripas bacterias que le ayudan a digerirlas. No se molesta en bajar por el tronco: se lanza a tierra. El remanente de alas le permite reducir la velocidad de la caída. Para ir desde donde duerme hasta las áreas donde se alimenta, a los kakapos no les queda otro remedio que hacer el recorrido a pie, trotando, al paso enérgico de un atleta olímpico, distancias de hasta varios kilómetros. Pero esas no son sus únicas ni más importantes caminatas...

Los kakapos macho tienen una manera muy extraña de conseguir pareja. Caminan hasta 5 km para llegar hasta la base de ciertos riscos, donde cada uno cava en el suelo, a escasos metros de distancia, una pequeña depresión. Desde esos nichos compiten a gritos para atraer a las hembras. En las noches sin viento, los riscos multiplican sus voces y hace que puedan ser escuchadas a varios kilómetros de distancia. Cada macho vocifera miles de veces

cada noche..., y la competencia se extiende, sin interrupción alguna, a lo largo de tres o cuatro meses. Los kakapos han refinado este certamen a tal punto, que compiten por ocupar los sitios más cercanos al farallón, a fin de que la resonancia atraiga una mayor cantidad de hembras. Y vale destacar este último plural, pues la especie, a diferencia de la inmensa mayoría de las cotorras, no forma parejas. Durante el período de apareamiento cada kakapo macho fecunda a cuantas chicas logre atraer..., y luego se retira del área tan solitario como llegó.

La singular práctica amorosa le resulta costosa a los machos, pues durante los meses de ardor operático pierden hasta la mitad de su peso corporal. El hábito les ha resultado desastroso, pues luego de la colonización de Nueva Zelanda por los maoríes y luego por los europeos, los mamíferos que introdujeron –ratas, perros, gatos, comadreas– depredaron intensamente al kakapo. En esta matanza participaron también los propios humanos, pues la inmensa cotorra constituía, después de todo, un paquete de carne considerable, incapaz de volar, y que anunciaba su presencia a los cuatro vientos. Los esfuerzos para proteger al kakapo comenzaron en 1891, y desde entonces se han intensificado muchísimo. En 1996 quedaban menos de sesenta individuos; pero el más reciente censo, llevado a cabo en 2023, reveló que en las pequeñas islas donde sobrevive –todas libres de mamíferos terrestres– la población alcanza 247 individuos...

UNA HIENA EXCEPCIONAL

El linaje de las hienas produjo una especie en extremo rebelde.

Si le preguntas a quienes te rodean qué comen las hienas, es probable que la respuesta será «carroña». Estrictamente hablando, esto no es cierto, pues por toda África las hienas cazan tan a menudo como los leones; y entre ambos carnívoros hay una competencia para ver quién le quita la presa al otro. Gana el que tenga la mayor cantidad de amigos.

Por otro lado, a casi todo el mundo las hienas les parecen feas. A ello contribuye, sin duda, la inelegancia de su andar, con la parte posterior del cuerpo caída; el triste colorido del pelaje, que da la impresión de estar sucio; y la mala suerte de ser fotografiadas, demasiado a menudo, frente al cadáver sangriento de una preciosa cebrá, y rodeadas de una comitiva de los también malcarados buitres. Contadas personas las ven bonitas.

Pero hay una hiena distinta... Pertenecen a la misma familia que las demás (Hyaenidae), pero no se alimentan de cuadrúpedos, ¡sino de comejenes! Se trata del aardwolf, *Proteles cristata*. El extraño nombre común viene del holandés, donde significa «lobo de tierra».

Los predecesores del aardwolf llevan tantos millones de años dedicados a la tarea de consumir comejenes, que su dentadura ha degenerado considerablemente. Su lengua, por otro lado, al igual que la de los demás mamíferos adaptados a esa misma dieta, se ha vuelto larga y pegajosa, algo que le permite ingerir decenas de estos insectos en cada bocado. En una sola noche son capaces de devorar hasta doscientos mil comejenes. Cazar en grupo presas tan menudas constituía una seria desventaja... y el lobo de tierra aprendió a ser solitario. La nueva vida permitió que *P. cristata* dejara atrás buena parte de la fealdad típica de sus antecesores. Sus patas posteriores recuperaron la



Figura 2. *Proteles cristata*, aardwolf. Imagen generada con la IA ChatGPT.

altura de las delanteras, sus orejas y hocico se afinaron, y adquirió un pelaje a rayas que puede ser calificado de elegante. Si alguien tuviera a su disposición un suministro exagerado de comejenes, bien podría considerar tener un aardwolf como mascota...

UN ERMITAÑO NADA CONVENCIONAL

Los cangrejos ermitaños (o paguros, la superfamilia Paguroidea) son un linaje rebelde, por partida doble: viven fuera del agua... y todo el tiempo metidos en una concha. Suman unas ochocientas especies, tan diversas, que han sido agrupadas en siete familias. Son muy comunes a las orillas de todos los mares tropica-

les. A algunas especies se las puede encontrar varios kilómetros tierra adentro; y a otras, hasta a centenares de metros de profundidad.

Aun cuando una de las dos tenazas (o «pinzas») de estos crustáceos sea siempre poderosa y capaz de darnos una buena mordida, resultan simpáticos: llevan su casa a todas partes; y en cuanto se sienten amenazados, esconden el cuerpo entero. No agradecen las visitas a domicilio... pero con un poco de cuidado, se les puede manipular.

Los paguros son omnívoros, e incapaces de correr, pero poseen un excelente olfato (su nariz está en las largas e intranquilas antenas): poco a poco llegan a cualquier fuente de comida. Si la situación lo exige, hasta trepan por una superficie rocosa. En las playas se les puede ver deleitándose con los residuos del almuerzo de los bañistas: comen pan, arroz, frutas, vegetales, hamburguesas y hasta espaguetis. En las islas y cayos donde anidan gaviotas, cada huevo roto atrae en pocos minutos a decenas de ellos. Los mayores son capaces de agarrar a un pichón de gaviota por una pata, derribarlo... y devorarlo. El espectáculo es horripilante y, me consta, difícil de contemplar.

Aunque la inmensa mayoría de los ermitaños se mueve a todas partes con su concha a cuestas, una especie se las arregló para blindar su abdomen y prescindir de ella. Se trata del llamado cangrejo de los cocoteros, *Birgus latro*, que habita las islas tropicales del océano Índico y el este del Pacífico.

Birgus latro un rebelde entre rebeldes. Es el mayor y más ponderoso de los artrópodos que viven fuera del agua, pues alcanza unos 4 kg. Su grado de adaptación al medio terrestre es tal, que a fin de respirar aire atmosférico ha desarrollado una suerte de pulmón; y las aga-



Figura 3. *Birgus latro*, cangrejo de los cocoteros. Imagen generada con la IA ChatGPT.

llas que caracterizan a su superfamilia se han reducido a tal punto, que si se le coloca en agua por más de una hora, ¡se ahoga! Su nombre común y fama indican que vive de puros cocos, pero esto es falso. La masa de los cocos, por ser de tan difícil acceso, está lejos de ser su plato principal... Ermitaño al fin, come lo mismo frutas y semillas, que tortugas marinas recién nacidas, otros cangrejos, ratas y hasta los cadáveres de cualesquiera animales. Y es, además, un caníbal inveterado.

A fin de conseguir la nutritiva carne de los cocos, *Birgus* se ve obligado a trabajar mucho... pero cuando le aprieta el hambre, enfrenta el asunto con sus pinzas, dedicándole varios días (sí, días) a eliminar la fibrosa cubierta exterior,

y a la perforación del durísimo cuesco, precisamente por alguno de sus tres puntos débiles...

Se ha sugerido que *Birgus* pudiera haber sido el causante de la desaparición del cadáver de Amelia Earhart, una famosa piloto que en 1937 fracasó en su intento por ser la primera mujer en darle la vuelta al mundo en un avión. Se cree que pudo haber llegado a la isla Nikuramoro –en el océano Pacífico y cercana a la que era su destino, para reabastecer el combustible–, y muerto allí de insolación y hambre. Sus restos nunca aparecieron, y hay quienes opinan que los cangrejos de los cocoteros pudieron haber despedazado el cuerpo y cargado los huesos hacia sus profundas madrigueras.

Birgus derivó de algún paguro que tiempo atrás vivió, como todos, en conchas protectoras. Se desconoce cuándo ocurrió la separación, pero podemos suponer que el curso de su evolución pudo haber sido, poco más menos, como sigue...

En algunas islas indopacíficas se combinaron dos factores que incentivaron un aumento de tamaño: la fenomenal abundancia de un alimento nuevo y de muy difícil acceso (los cocos), y la total ausencia de depredadores. Si recordamos que en cada nueva camada de cualquier especie siempre hay vástagos de talla un poco más grande que la normal y tenemos en cuenta los factores mencionados... con el paso de las generaciones, la talla del paguro original aumentó.

En ningún lugar del mundo hay conchas de suficiente tamaño como para cobijar paguros tan exagerados..., pero la ausencia de carnívoros las hizo innecesarias.

Si queremos ser quisquillosos respecto al hipotético escenario evolutivo, podríamos añadir que al menos una parte del suelo de la

isla donde despegó la «birgusidad» debió ser rocoso. Las hay así. Este detalle implicaría que algún que otro coco se abría al caer, poniendo la masa a la disposición de los incipientes gigantes. Es posible que las pugnas por comer de cada coco roto se convirtieran en una presión adicional para el agigantamiento, pues en ellas se imponían los animales mayores.

Un indicio de que el cangrejo de los cocoteros deriva de otro que se valía de una concha protectora es que sus juveniles las siguen utilizando. El ciclo de vida de la especie es idéntico al de las dieciséis especies de ermitaños terrestres (la familia Coenobitidae). Al igual que ellos, *Birgus* larga los huevos en el mar, de los cuales salen larvas tan pequeñas como mosquitos, cuyo aspecto es *muy* diferente a los adultos, que nadan libres. Luego de varias transformaciones, los pequeños alcanzan la misma forma de los padres, van al fondo y se buscan una concha.

Eventualmente salen a tierra, donde siguen protegiéndose con conchas más y más grandes durante los primeros años de vida.

No obstante su amplísima distribución, *Birgus* está en franca declinación, pues dondequiera es objeto de captura: se le considera un plato exquisito.

¡VERTEBRADOS PARASITARIOS!

Unos pocos vertebrados han dado pasos en dirección a formas de vida que califican como deleznales: al parasitismo. A vivir a expensas de otros...

En la naturaleza, el parasitismo es común. Lo practican centenares de garrapatas, que viven sobre los sapos, lagartijas, aves y mamíferos; las lombrices solitarias, que invaden

las tripas de roedores, cánidos, félidos, cerdos, cetáceos, seres humanos; y los protozoos, que logran introducirse en las células de los animales. Se les llama parásitos siempre y cuando exploten al invadido sin aniquilarlo. También califican como parásitas, si bien a medias, las aves que ponen sus huevos en el nido de otra especie a fin de que se los incuben... y de que luego alimenten a sus pichones (tal es el caso, por ejemplo, del cuco común, *Cuculus canorus*, y de los pájaros vaquero, del género *Molothrus*).

Aun cuando el león tiene por costumbre despachar antílopes, cebras y búfalos de agua, no es considerado su parásito, sino su depredador. No obstante, el objetivo que persiguen la garrapata y el león es el mismo: alimentarse



Figura 4. *Cuculus canorus*, cuco común. Imagen generada con la IA ChatGPT.

de otra especie. Y ambos son sangrientos. La diferencia entre ellos está en que la primera es muchísimo más pequeña, vive pegada a su enorme víctima, y a lo sumo le extrae unas pocas gotas de sangre. Pero si miramos el asunto desde cierta altura filosófica, se podría decir que la especie león es parásita de la especie antílope: la primera vive a expensas de la segunda, sin jamás exterminarla.

Si seguimos el anterior hilo de razonamiento desde una perspectiva aun más elevada (desde la cual no se aprecia la sangre), se podría afirmar que *el conjunto* de los animales es parásito *del conjunto* de las plantas... Un biólogo con algo de abogado podría añadir que los seres humanos somos parásitos de amplio espectro... y con alevosía, pues *criamos* ciertos animales para luego devorarlos.

Los parásitos regulares, los de los libros de texto, por fuerza son mucho más pequeños que sus víctimas. Es por eso que (casi) no existen parásitos vertebrados: ninguna rana se ha adaptado a alimentarse en las tripas de los mamíferos, ni hay lagartos dedicados a chuparles la sangre desde el exterior. Sin embargo, esta norma tiene tres excepciones notables, dos de las cuales son algo conocidas. La otra, que atenderemos a continuación, es el caso más extraordinario.

Se trata de tres peces del género *Vandellia*, que comparten un mismo nombre común, candirú, y habitan las aguas de la vasta y fusionada cuenca de los ríos Amazonas y Orinoco, cuya diversidad de escamudos es pasmosa: suman más de seis mil especies. Casi la mitad de los peces dulceacuícolas del mundo vive allí. Entre ellos hay maravillas de tamaño (entre las cuales están algunos de los peces más grandes del planeta, y de los más pequeños);

de blindaje (hay peces gato con armaduras como de guerreros medievales); de las más insólitas costumbres (hay rayas que jamás van al mar, y anguilas que encuentran y paralizan a sus presas con electricidad); de ferocidad (las pirañas); de cuidado de los críos (los pequeños de los discos, del género *Symphysodon*, se alimentan de secreciones de la piel de los padres); y de colorido (numerosas especies visteen iridiscencias casi hipnotizantes).

Las *Vandellia* evolucionaron en aquel prodigioso acuario; y son los únicos vertebrados del mundo que califican como parásitos profesionales. Tienen, para los peces de mayor talla, la mala costumbre de colárseles por las aberturas branquiales, pegarles una mordida y chuparles la sangre. Los candirús pertenecen al orden Siluriformes, donde hay otras tres mil especies, y han sufrido tantas modificaciones en función de una vida parasitaria, que constituyen, por sí mismos, una familia aparte: Trichomycteridae. Su estirpe quizás lleve millones de años refinando la repulsiva forma de vivir. La especie más pequeña tiene apenas 5 cm de longitud; y la mayor, 17 cm.

La pinta de los candirús es de por sí extraña: son casi tan alargados como un lápiz y aún más delgados hacia la nariz. Su figura da la impresión de ser poco concordante con las demandas de moverse por el agua. Pero esta anomalía tiene mucho sentido cuando recordamos que necesitan escurrirse por las ranuras branquiales de otros peces, que jamás son anchas... y que se abren y cierran sin parar. Luego de morder a la víctima en alguna arteria cercana al corazón, la presión sanguínea hace que la sangre fluya libre y abundante hacia sus tripas. En cuestión de uno o dos minutos su panza se infla tanto, que da la impresión de

estar a punto de estallar. Una vez saciado el apetito, el candirú sale al exterior, quizás para evitar convertirse, él mismo, en un bocado nutritivo (pues se encuentra, después de todo, en una *garganta*)..., y de inmediato se entierra en el sedimento del fondo. Allí, tranquilo y fuera de peligro, hace la digestión.

El singular hábito de los candirús ha hecho que, en raras ocasiones, uno de ellos haya penetrado la vagina de una bañista humana. Como es de suponer, el incidente resulta dolorosísimo, pues el pez, debido a las espinas que ha desarrollado para afincarse a la garganta de sus víctimas, resulta muy difícil de extraer.

Incidentes así dieron lugar a muchas leyendas, que por mucho tiempo fueron consideradas verdades probables, o indiscutibles. Aunque las historias eran extravagantes a más no poder, aparecían hasta en los libros más serios, si bien mencionadas con cierta cautela. Se decía, por ejemplo, que los candirús eran capaces de penetrar la uretra (el conducto por donde se emite la orina al exterior). Eso se afirmaba, por ejemplo, en la edición de 2003 de la *Encyclopedia Britannica*. Según otras historias, hasta había que cuidarse estando fuera del agua: una de las versiones más exageradas afirmaba que los varones tenían que evitar orinar hacia un río, pues el pececillo era capaz de nadar por el chorro hasta el pene; y otra –que apareció en una novela– señalaba que podía alcanzar el íntimo orificio mediante un salto directo desde el río. Todo esto resultó ser falso...

Los otros dos vertebrados parásitos son bastante familiares. En primer lugar están los auténticos vampiros –de los que se hay tres especies, todas suramericanas–, que no son sino murciélagos pequeños adaptados a hacer inci-

siones en la piel de otros vertebrados y lamer un poco de sangre.

El otro aficionado a beber sangre de vertebrados fue un grupo humano de África, los masai, unos pastores seminómadas que hasta hace algunos decenios tenían por costumbre dar un pequeño tajo en el pecho de alguna de sus vacas a fin de obtener alrededor de un litro de sangre. Eran expertos en el procedimiento, y jamás le causaban un daño mayor al animal. La sangre era de inmediato mezclada con leche, y bebida al instante. Hoy los masai solo practican dicha costumbre durante ciertas ceremonias, pues las circunstancias los han vuelto agricultores. Mirándolo bien, también hay olor a verdadero parasitismo en la actividad de los ganaderos productores de leche, así la obtengan a mano o con la ayuda de algún aparato mecánico (y lo mismo si beben el líquido en familia, que si lo venden). A fin de cuentas, le sacan al animal un nutrimento, sin llegar a matarlo.

Hay un caso más de parasitismo vertebrado, que ocurre entre aves... pero se trata de un oficio a tiempo parcial. Lo practica un pinzón, *Geospiza septentrionalis*, que habita dos de las islas Galápagos: cuando el hambre le aprieta o se le brinda la oportunidad, da picotazos a la piel de algún pájaro bobo hasta hacerla sangrar. Luego bebe el nutritivo líquido.

PECES CAMINANTES

Dada la enorme antigüedad de los peces –nada menos que quinientos millones de años–, no es extraño que entre ellos hayan surgido modos de vida tan radicalmente distintos del tradicional como el de los candirús.

Caminar por el fondo es el mayor de los sinsentidos: nadar es veces mil veces más fácil. Nosotros mismos, caminantes profesionales, cuando deseamos movernos por el agua con agilidad, nos colocamos en los pies unas aletas de goma. Pero varios escamudos, o grupos de ellos, desarrollaron, en total independencia, la capacidad para usar algunas aletas a manera de patas... La sinrazón de los peces caminantes es solo aparente. En primer lugar, porque ninguno desechó la capacidad de nadar; y, en segundo lugar, porque caminan no para avanzar mejor, sino para moverse por el fondo de manera subrepticia. Y lo logran muy bien: se volvieron ninjas.

Un buen ejemplo de pez caminante está en los llamados peces diablo, pertenecientes a la familia Ogcocephalidae, ninguno de los cuales tiene un solo pelo (o escama...) de diabólico. Son, por el contrario, inofensivos: tan mansos y lentos –incluso cuando se deciden a nadar– que pueden ser atrapados a mano limpia. El nombre se lo buscaron debido a su estrambótica estampa: no parecen un pez en absoluto, sino más bien un trozo de roca arrecifal recubierto de algas y sedimento.

En las aguas caribeñas hay varias especies de peces diablo. Una de ellas, *Ogcocephalus nasutus*, vive a poca profundidad, y es posible encontrarlo en los fondos arenosos salpicados de piedras sueltas. Nosotros lo podemos reconocer, pues al igual que cualquier otro pez, tiene simetría bilateral. Desde arriba parece un modelo de avión desechado, o una anclita tosca y herrumbrosa. Pero el aspecto y la inmovilidad hacen que *O. nasutus* sea difícil de detectar por los depredadores. Aun cuando la falta de espinas y de venenosidad le harían un bocado apetecible, tiene a su favor que nunca



Figura 5. *Ogcocephalus nasutus*, pez diablo. Imagen generada con la IA ChatGPT.

abunda..., y a los carnívoros no les resulta nada «económico» dedicarse a buscarlos.

Los peces diablo permanecen larguísima ratos tan inmóviles como las piedras que tienen alrededor. Si nos acercáramos a uno, podríamos notar que en ocasiones avanza muy despacio mediante el movimiento alterno de sus cortas, delgadas y duras aletas ventrales: se dirige, con sumo sigilo, hacia donde hay pececillos o cangrejos pequeños. Una vez alcanzado un buen sitio, extiende, desde debajo de su prominente «nariz», una pieza terminada en un bulbo. Esa es su vara de pescar; y el bulbo, su carnada. Cuando logra que algún animalillo se acerque para atrapar el cebo, lo succiona con un rapidísimo movimiento de las mandíbulas. La «vara de pescar» viene, según

la especie, en distintos largos y con carnadas de diferente aspecto, y deriva de una espina de la aleta dorsal. Se sospecha que la «carnada» atrae a las presas no solo por su aspecto y la gracia del movimiento, sino, además, por las sustancias que segrega. Se conocen fósiles de peces diablo de hasta decenas de millones de años de antigüedad. A la especie primigenia, el truco de hacerse pasar por un objeto inanimado le cerró la puerta para ser abundante, veloz, colorido... y grande. Pero el nuevo oficio dio lugar a que surgieran las setenta especies «luciferinas» actuales, la mayor parte de las cuales vive entre 200 y 3000 metros de profundidad.

Otros escamudos no solo caminan debajo el agua... sino también fuera de la misma. Se trata de una veintena de especies que habitan las orillas tropicales de África, Asia y Australia, conocidos como saltafangos o peces del fango, del género *Periophthalmus*.

Los saltafangos pertenecen a la familia Go-biidae, compuesta por peces pequeños, gorditos, de nariz redondeada y color apagado, suman más de dos mil especies; y abundan a la orilla de los mares tropicales del mundo entero. Su anomalía principal está semioculta: las aletas pélvicas –las que están en la garganta– están unidas, formando una ventosa.

Los saltafangos son el resultado de una singular movida de la evolución de los góbidos por aprovechar las bondades que están por encima del nivel del agua: las de los ambientes dominados por manglares. Las mareas hacen que el lodo de los manglares, rico en materia orgánica, se inunde una o dos veces al día; y los saltafangos se han adaptado a vérselas con dichos cambios. Han adquirido una forma de vida realmente anfibia. Tal como lo indica su nombre científico (en griego, *peri* significa

«por fuera»; y *ophthalmos*, «ojo»), los ojos de los saltafangos dan la impresión de ser un par de peloticas que a última hora y luego de haber sido fabricado el pez entero, fueron adheridas a la parte superior de la cabeza. Su aspecto es bastante cómico, pero los ojos saltones les permiten estar atentos a los peligros.

Usando las aletas pectorales a manera de patas, los saltafangos caminan fuera del agua y hasta trepan por las raíces de los mangles, apoyados, en la parte trasera, sobre la cola. Su avance por el fango es lento, pero les permite raspar del sedimento la capa más superficial, que es su alimento principal. Andando así, hasta forcejean entre sí para defender un territorio. Sus exhibiciones de fuerza y tamaño se basan en recostarse de un lado y pegar unos saltos olímpicos. Su destreza es tal, que caen «de pie» –o sea, con la panza para abajo– tan a menudo como un buen gimnasta.

Al igual que los anfibios, los saltafangos respiran, en parte, por la piel. Como que para eso su traje necesita estar húmedo, durante la marea baja hacen rodar su cuerpo por el lodo cada pocos minutos. Además, tanto en tierra como bajo el agua obtienen oxígeno gracias a una burbuja de aire que retienen alrededor de las agallas. A fin de que esta pueda ser grande, han desarrollado un espacio bucal dos o tres veces mayor de lo normal. Esa misma capacidad para llevar en la boca una burbuja le permite a la hembra transportar aire hasta la cámara donde pone los huevos; y a ambos sexos, extraer del fondo inmensas bocanadas de fango. Así construyen sus refugios. Cuando la marea baja demasiado, los saltafangos se esconden en sus guaridas, con lo cual evitan el calor y la desecación.

ALAS QUE SIRVEN PARA NADAR

Entre las tan terrestres y aéreas aves surgieron especies rebeldes que alcanzaron a hacer lo contrario de los saltafangos: conseguir su alimento en el agua. A ese efecto, los patos, las corúas, las gallinuelas, los pájaros bobos y los pingüinos desarrollaron patas palmeadas y alas que funcionan como aletas.

Pero hay cinco pajarillos, del género *Cinclus*, cuyo aspecto no delata, en absoluto, su habilidad para moverse por el líquido. Se les conoce como zambullidores, viven por casi toda Europa, Asia y las Américas..., y cualquiera podría pensar que son aves terrestres de las más comunes... No estaría lejos de la verdad, pues estas avecillas pertenecen al más nutrido



Figura 6. *Cinclus cinclus*, zambullidor de garganta blanca. Imagen generada con la IA ChatGPT.

grupo de aves, las Passeriformes, compuesto por más de cinco mil especies totalmente terrestres, entre las cuales están los zorzales, golondrinas, gorriones, pinzones, tiranos. Pero los *Cinclus* buscan su sustento debajo del agua.

Por llevar tanto tiempo dedicados a alimentarse en los ríos y arroyos de buena corriente, los huesos que forman el cráneo de los zambullidores han variado respecto a los del resto de las passeriformes, y su quinteto de especies ha sido colocado en una familia aparte, Cinclidae. Por ser tan fuera de lo común y no importarle en absoluto el agua fría, el zambullidor de garganta blanca, *Cinclus cinclus*, fue designado el ave nacional de Noruega.

Los zambullidores se alimentan de pequeños invertebrados acuáticos. Aun con su cuerpo de pajarillo «normal», no vacilan en sumergirse en los torrentes y agarrarse al fondo, por el cual avanzan muy agachados, siempre en contra de la corriente. Se impulsan sacudiendo ligeramente las alas: «vuelan» por dentro del agua. Su afinidad con el líquido es tal, que hacen el nido entre las piedras de la orilla. En cuanto un pichón pequeño y aun no totalmente emplumado se siente amenazado, ¡se lanza al arroyo y escapa *por debajo* del agua!

RANAS DE FANTASÍA

Hasta hace unos pocos millones de años, América del Sur fue, al igual que Australia hoy, un continente-isla. Los geólogos han encontrado evidencia de que antes de la unión con las tierras situadas al norte, la inmensa y tropical tierra suramericana se mantuvo aislada a lo largo de unos 70 m.a. Ese es el motivo por el cual su flora y fauna son tan diversas; y la razón por la

cual la mayoría de sus especies son únicas en el mundo.

Todas las ranas, al igual que el resto de los anfibios y la mayoría de los peces, producen alguna que otra toxina en la piel. Pero hay motivos para suponer que durante el tan prolongado aislamiento del continente suramericano, una rana pequeña aprendió a aprovechar las toxinas de los insectos que consumía, a reelaborarlas un poco ¡y a almacenarlas en la piel! La habilidad hizo que aquel anfibio fuera, al principio, de mal sabor..., y el refinamiento ulterior lo volvió venenoso. Mientras esto ocurría, ganó colorido... y alcanzó a darse el lujo de vivir a pleno sol.

Muchos animales venenosos han desarrollado maneras de anunciar su peligrosidad, como se dice, «a gritos». Tal es el caso de las avispas, el pez león, la serpiente cascabel y los cuatro pulpos mínimos, del género *Hapalochlaena*, cuya piel muestra decenas de anillos de color azul iridiscente, que habitan los océanos Índico y Pacífico.

Eso mismo hizo aquella primera ranita mortal. El pequeño anfibio eventualmente se desperdigó por el continente. El azar, las disímiles condiciones imperantes en cada región y la caprichosa preferencia de las ranas hembras por los varones de uno u otro tinte produjeron ciento setenta criaturas que parecen listas para participar en el más fogoso carnaval. Juntas forman una familia aparte, Dendrobatidae. La mayoría apenas tiene entre 30 y 50 milímetros de longitud; y la mayor, unos 55 mm.

Hay dendrobátidas en dos tonos de vivísimos azules; negras con rayas amarillas, y con el vientre manchado de azul y el dorso salpicado de rojo; azules con la cabeza roja; negras con el vientre blanco y las patas de color caoba; man-



Figura 7. *Dendrobates terrestris*. Imagen generada con la IA ChatGPT.

chadas de verde y negro; rojas, con las patas azules; de color azul marino con manchas negras; de color bermellón con las patas azules; a rayas y manchas en tres tonos de color café... Se pasean por el suelo de las selvas con casi completa impunidad. Incluso se han vuelto sociales: viven en grupos de hasta media docena. La más venenosa, *Phylllobates terrestris*, habita la región costera de Colombia... y es una versión anfibia del más amarillo de los canarios (por motivos que nadie ha podido explicar, los individuos de ciertas poblaciones son de color verde metálico, verde muy pálido, o blancos; y los de otra población, anaranjados).

P. terrestris tiene el nombre muy bien puesto: un solo ejemplar puede llegar a acumular en la piel alrededor de un miligramo de vene-

no, pero esa cantidad que alcanzaría para matar a unos 10.000 ratones..., o a quince seres humanos (o, según el estimado de un investigador inclinado a ofrecer imágenes aun más potentes... a dos elefantes).

Aun con esa bomba en la piel, en el mismo ambiente de *P. terribilis* viven varias serpientes que de vez en cuando se las almuerzan. Esto era de esperar, pues las presas y sus depredadores están todo el tiempo en una carrera de habilidades: las primeras, para optimizar sus defensas; y los segundos, para franquearlas. Una prueba de que la carrera se mantiene en curso está en que la inmunidad de estos ofidios es parcial: un atracón de dendrobátidas los puede matar.

Los indios colombianos le encontraron uso al veneno de *P. terribilis*. Sin tocar al anfibio, lo atraviesan con una varilla larga, lo colocan al calor de un fuego y luego pasan por su piel las puntas de sus dardos y flechas. El pájaro o mono que recibe una herida con uno de estos proyectiles, por leve que sea, queda paralizado al instante, pues la toxina bloquea la transmisión de los impulsos nerviosos. En cuestión de segundos –muy pocos– la presa cae al suelo.

Pero ahora viene lo mejor: en Madagascar y la cercana isleta Mayotte viven unas ranas muy parecidas a las dendrobátidas: comparten el tamañito, el colorido alucinante, el hábito diurno..., y una seria toxicidad derivada del alimento. Se han reconocido dieciséis especies, reunidas en el género *Mantella*; y pertenecientes a una familia netamente malgache, Mantellidae, con más de doscientas especies. Los detalles de la anatomía, el ADN y la forma de apareamiento de las *Mantella* son muy particulares, e indican que derivaron de alguna ranita de aquella región...

La insularidad de Madagascar es más antigua que la de Suramérica: se separó de África hace unos 135 m.a.; y de India, hace alrededor de 88 m.a. Pero el linaje de las mantéldas es aún más antiguo: ya existían, con la misma pinta de las modernas, hace 260 m.a. Es obvio que estas ranitas dominaron el truco para almacenar en la piel las toxinas contenidas en sus presas de manera por completo independiente; y que fue a partir de ese talento fisiológico que alcanzaron la misma miniaturización, las ropas alegres... y el lujo de exhibirlas a pleno sol. (El talento no es exclusivo de las ranas, ni lo inauguraron ellas: fue inventado mucho antes por ciertos moluscos marinos parecidos a las babosas, conocidos como nudibranquios).

Hay mantellas de color entero (amarillas, anaranjadas y tan rojas como un tomate), pero otras son negras, con las extremidades y un gran parche alrededor del sitio donde estas se insertan en el cuerpo de color amarillo, verde, azul o anaranjado. La especie de colorido más inverosímil, *M. baroni*, también es negra, pero tiene los hombros, las patas delanteras y unas «cejas» de color verde limón..., y las patas posteriores a tres colores: los muslos, verde limón; las canillas, amarillas; y los pies, color mandarina.

Las dendrobátidas y las mantellas no tienen en español un nombre común establecido. En su lugar se usa la traducción del apelativo en inglés (que fue inventado por los zoólogos), basado en el veneno y los dardos. Es una lástima que no se haya hecho un esfuerzo por llamarlas ranas caramelo, ranas arcoíris o ranas carnaval. Después de todo, mucho más importante que su toxicidad (respecto a la cual basta con abstenerse de tocarlas) es la fiesta que sus imágenes producen en la retina..., y la provo-

cada en las entendederas luego de conocer el origen de tantos tintes locos.

De tintes rebeldes, y muy convenientes para llevar adelante vidas por entero novedosas.

LITERATURA RELEVANTE

Campbell, B., y Lack, E. (Eds.) (1985). *A Dictionary of Birds*. Buteo Books.

Cox, C. B., y Moore, P. D. (2005). *Biogeography. An Ecological and Evolutionary Approach*. Blackwell Publishing.

Gould, E., y McKay, G. (Eds.) (2003). *Encyclopedia of Mammals*. Fog City Press.

Gould, S. J. (Ed.) (2001). *The Book of Life*. W.W. Norton & Company.

Long, J. A. (1995). *The Rise of Fishes. 500 Million Years of Evolution*. John Hopkins.

Mattison, C. (1987). *Frogs and Toads of the World*. Facts on File.

Entre nidos y sombras: el conflicto ecológico entre mapaches y tortugas marinas

Juan Diego Galavíz Parada^{1,2}, José Antonio Ramírez G.²,
Carlos A. Hernández² y Odín Benítez Luna²

RESUMEN. El crecimiento urbano en las zonas costeras de Puerto Vallarta ha modificado el equilibrio ecológico entre el mapache norteño (*Procyon lotor*) y la tortuga marina golfina (*Lepidochelys olivacea*). La pérdida de hábitats naturales como esteros y manglares ha impulsado a los mapaches a invadir las playas donde las tortugas anidan, depredando sus huevos y crías. Este fenómeno, además de afectar la reproducción de una especie emblemática del Pacífico mexicano, representa un riesgo sanitario por la posible transmisión de patógenos y parásitos zoonóticos. El artículo analiza la interacción entre ambas especies, los factores que la propician y las medidas necesarias para restaurar el equilibrio ecológico y promover una convivencia responsable entre la fauna silvestre y el desarrollo humano.

Palabras clave: conservación marina, zoonosis, manglares, equilibrio ecológico.

ENTRE LA ARENA Y LA NOCHE

En las playas de Puerto Vallarta, cuando cae la noche y las tortugas marinas comienzan su silencioso ritual de anidación, otro visitante merodea la arena. El mapache norteño (*Procyon lotor*), curioso, ágil y oportunista, ha encontrado en los nidos de la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) un banquete fácil. Lo que antes era un equilibrio natural entre especies, se ha convertido en un serio problema de conservación.

El crecimiento urbano y turístico ha reducido drásticamente los humedales, manglares y esteros que tradicionalmente servían de refugio y alimento a los mapaches. Al perder su hábitat natural, estos mamíferos se han adaptado a sobrevivir entre basureros, canales y zonas hoteleras, desplazándose hasta las playas de Boca Negra, Marina Vallarta y Boca de Tomates, donde excavan los nidos de tortugas

Recibido: 02/06/2024

Aceptado: 03/10/2025

Publicado: 22/10/2025

¹ Escuela Preparatoria Regional de Puerto Vallarta, Módulo Ixtapa, Universidad de Guadalajara.

² Asociación Civil no gubernamental Nakawe A.C.



Figura 2. Generada con la IA ChatGPT.

marinas para alimentarse de sus huevos e incluso de crías recién nacidas.

EL MAPACHE: SUPERVIVIENTE URBANO

El mapache norteamericano es un mamífero omnívoro con gran capacidad de adaptación. Su dieta incluye insectos, crustáceos, peces, anfibios, frutas, granos y restos de comida humana. Su habilidad para abrir envases y explorar contenedores de basura le ha permitido prosperar incluso en entornos urbanos, donde se le observa trepando muros y nadando entre canales contaminados.

Esta plasticidad ecológica, sin embargo, tiene un costo ambiental. En Puerto Vallarta, los mapaches han invadido zonas costeras donde antes predominaba la vegetación de mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y otras especies nativas. Su presencia altera la cadena alimenticia natural y pone en riesgo a las tortugas marinas que anidan en la región, especialmente a la especie golfina, considerada la más abundante del Pacífico oriental.

LA TORTUGA GOLFINA: VIAJERA DEL OCÉANO

La tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) recorre miles de kilómetros desde el mar abierto para llegar a las costas mexicanas y cumplir con uno de los eventos más importantes de su ciclo vital: la anidación. Atraídas por señales ambientales como la fase lunar, la pendiente y la textura de la arena, las hembras eligen cuidadosamente la playa donde depositarán entre 80 y 120 huevos esféricos, semejantes a pelotas de ping pong.

Meses después, las crías emergen y se dirigen al mar, guiadas por la luz natural del horizonte. Sin embargo, la depredación masiva de los nidos por mapaches amenaza este proceso. Los voluntarios de conservación han observado un incremento notable en la pérdida de nidadas en playas urbanas, con nidos destruidos y restos de cáscaras esparcidos, evidencia del trabajo nocturno de estos inteligentes depredadores.

UN RIESGO PARA LA FAUNA Y LA SALUD HUMANA

Más allá de su impacto ecológico, el mapache representa un riesgo sanitario. Puede actuar como vector de enfermedades zoonóticas como la rabia, la leptospirosis, la salmonelosis y la toxoplasmosis. Además, porta un parásito intestinal conocido como *Baylisascaris procyonis*, cuyos huevos pueden permanecer viables en el suelo y el agua durante largos periodos. En humanos y otros mamíferos, este nematodo puede causar graves daños neurológicos y oculares si se ingiere accidentalmente.

Por ello, se recomienda a quienes participan en labores de conservación –como el rescate o reentierro de huevos de tortuga marina– utilizar siempre guantes de protección y evitar el contacto directo con los residuos o heces de mapache. Igualmente, se sugiere no alimentar a estos animales ni dejar basura expuesta, para reducir los encuentros entre mapaches y humanos en áreas urbanas y costeras.

HACIA UNA CONVIVENCIA RESPONSABLE

El conflicto entre mapaches y tortugas marinas refleja un problema mayor: la fragmentación del hábitat y la pérdida de equilibrio entre la vida silvestre y el desarrollo humano. Restaurar los esteros, proteger los manglares y manejar adecuadamente los residuos sólidos son pasos esenciales para reducir la presión sobre estas especies. La educación ambiental y la participación comunitaria también juegan un papel clave para fomentar la coexistencia responsable con la fauna local.

En última instancia, tanto los mapaches como las tortugas son parte del mismo ecosistema costero. Comprender sus interacciones y actuar con responsabilidad puede marcar la diferencia entre un entorno degradado y un paisaje vivo, donde la anidación de las tortugas siga siendo símbolo de esperanza y continuidad natural en las playas de Puerto Vallarta.

LITERATURA RELEVANTE

Alvarado-Barboza, G., y Gutiérrez-Espeleta, G. (2013). Conviviendo con los mapaches: del conflicto a la coexistencia. *Biocenosis*, 27(1-2).



Figura 2. Generada con la IA ChatGPT.

Álvarez, A. (2008). Predación de nidos de galápago leproso (*Mauremys leprosa*) por mapaches. *Quercus*, 269, 49.

Beltrán-Beck, B., García, F. J., y Gortázar, C. (2012). Raccoons in Europe: Disease hazards due to the establishment of an invasive species. *European Journal of Wildlife Research*, 58(1), 5-15. <https://doi.org/10.1007/s10344-011-0563-1>

Centro para la Seguridad Alimentaria y la Salud Pública (CFSHP). (s.f.). *Baylisascariasis*. <https://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/es/baylisascariasis.pdf>

Cuarón, A. D., Reid, F., y Helgen, K. (2008). *Procyon lotor*. En UICN (2014), *Lista Roja de Especies Amenazadas*. <https://www.iucnredlist.org/species/41686/45216344>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (s.f.). *Vector-borne diseases*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>

Entre micelios y mercados: los hongos *Aspergillus niger* y *Saccharomyces cerevisiae*

María Isabel Soriano Mayo¹, Gustavo Eduardo Cabrera Cozmes¹
y Luis Eduardo Ruiz González^{1,2}

RESUMEN. *Aspergillus niger* y *Saccharomyces cerevisiae* son dos de los hongos más importantes en la biotecnología moderna, con aplicaciones que van desde la producción industrial hasta la investigación científica. *Aspergillus niger*, conocido por su capacidad para producir ácido cítrico y enzimas, es fundamental en la industria alimentaria, farmacéutica y química, participando en la elaboración de productos como refrescos, conservantes, detergentes, cosméticos, e incluso en la producción de bioplásticos. Por su parte, *S. cerevisiae* es indispensable en la panificación, fermentación alcohólica, fabricación de biocombustibles, en la producción de probióticos, vitaminas y medicamentos, lo que lo destaca como un excelente modelo biológico. Sin embargo, aunque estos hongos están involucrados en muchos

de los productos, bienes y servicios que utilizamos diariamente (como el pan, la cerveza, el vino, productos de limpieza, suplementos nutricionales, antibióticos, vacunas y muchos otros productos que los hace esenciales para la vida cotidiana), su importancia e incluso existencia, sigue siendo poco conocida.

Palabras clave: levadura, hongos, industria alimentaria, biotecnología.

INTRODUCCIÓN

Los hongos están más presentes en nuestra vida de lo que imaginamos. No solo los encontramos en la naturaleza, también forman parte de procesos clave en la industria alimentaria, farmacéutica y biotecnológica. Dos de los más importantes son el hongo filamento-

¹ Lic. en Biología, Departamento de Ciencias Biológicas, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. maraisa5r@gmail.com; guscab.cozmes@gmail.com

² Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental, Departamento de Ciencias Biológicas, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. luiserui.gonzalez@gmail.com

Recibido: 08/05/2025

Aceptado: 08/10/2025

Publicado: 27/10/2025

so *Aspergillus niger* y la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, microorganismos que han sido aprovechados para transformar ingredientes en productos esenciales.

Estos hongos son de gran importancia desde la producción de alimentos y bebidas como el pan y la cerveza, hasta ser aliados fundamentales en el desarrollo de la ciencia y la tecnología. Conocer su papel en nuestra vida cotidiana nos permite entender mejor cómo los microorganismos pueden ser utilizados en beneficio de la sociedad.

EL HONGO QUE TRANSFORMA LO IMPOSIBLE: ¿ASPER... QUÉ?

Aspergillus niger es un hongo que está presente casi en todas partes, se puede encontrar en el suelo, en las plantas y el aire, donde forma parte del mundo microscópico que nos rodea. Este hongo tiene la capacidad de crecer en materia orgánica en descomposición y su presencia puede ser dañina en algunos contextos, como cuando dejamos olvidado en soledad una pieza de pan en la alacena (oscura y húmeda), propiciando su deterioro, a la vez que proporcionamos al microorganismo un ambiente idóneo para su crecimiento. Este hongo también puede ser responsable de causar infecciones en el ser humano, siempre y cuando se trate de personas con un estado de salud desfavorable, como aquellos individuos que tienen un sistema inmunológico debilitado como consecuencia de enfermedades como el VIH o el cáncer (Figura 1).

No obstante, *A. niger* tiene mucho más para ofrecernos que comida podrida y enfermedades, también se ha logrado su aislamiento y cultivo para aprovechar su enorme potencial

en diversidad de industrias (Figura 2). El ser humano a lo largo de más de 100 años ha logrado sacar provecho de este hongo de múltiples formas, pues es fundamental en la producción de un compuesto del que quizá hayas escuchado

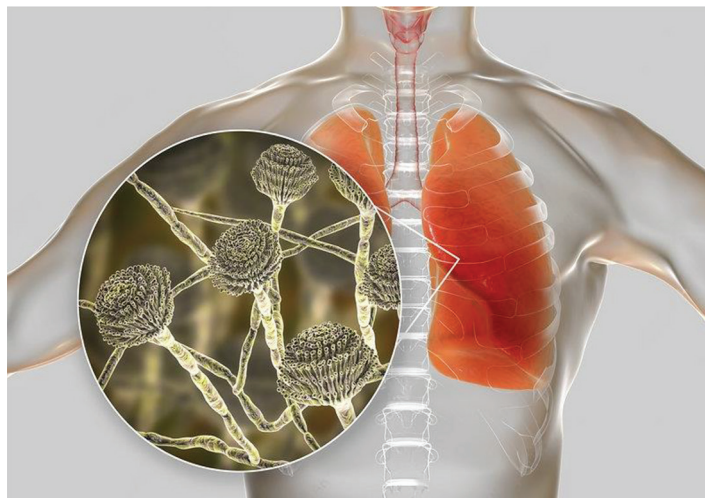


Figura 1. Tejido pulmonar invadido por hongos del género *Aspergillus*. Ilustración de Kateryna Kon en el portal de Science Photo Library: Pulmonary aspergillosis. <https://www.sciencephoto.com/media/1201123/view>



Figura 2. Imagen tomada de: *Aspergillus* (mold) for education in laboratory [Fotografía], por Sinhyu, s.f., CANVA. <https://www.canva.com/photos/MADFvDzWAfo/>

do o leído en más de una ocasión en tu vida: el ácido cítrico. Pero, ¿Qué te viene a la mente al pensar en este producto? Si tu respuesta tiene que ver con un limón, naranja, toronja o cualquier fruta de este ácido grupo, debes de saber que has vivido engañado durante toda tu vida, pues si bien es cierto que estas frutas sí contienen este compuesto, la obtención del mismo a partir de limones data del año 1742. Esto perduró así durante casi dos siglos, hasta que en el año de 1916 el paradigma de la producción del ácido cítrico para la industria tuvo un gran avance, cuando James Currie realizó un estudio donde descubre que el hongo *A. niger* es capaz de producir una cantidad bastante considerable de este tan preciado producto en contraposición al, en aquel entonces, método tradicional; creando así los cimientos de lo que sería la industria de la producción de ácido cítrico como la conocemos hasta la actualidad.

¿Y PARA QUÉ SIRVE EL ÁCIDO CÍTRICO?

Gracias a *Aspergillus niger* la producción de este compuesto se ha masificado, pues es el responsable del 99% de la producción del ácido cítrico que hoy día es utilizado ampliamente en diversos campos de la industria a nivel mundial, siendo esta la razón del por qué convivimos todos los días con este hongo, al menos de manera indirecta. Entre las principales aplicaciones del ácido cítrico se encuentra su uso en la industria alimentaria, donde se añade en bebidas para aumentar la acidez y complementar sabores frutales, además de mejorar la eficacia de los conservadores antimicrobianos. De la misma manera, en mermeladas y jaleas proporciona acidez, además de ser utilizado

para ajustar el pH. También lo podemos encontrar en los dulces, actuando como acidulante, minimizando la inversión de la sacarosa y proporcionando un color oscuro en los caramelos macizos; su presencia en grasas y aceites actúa como estabilizador, haciendo sinergia con antioxidantes que así lo requieran. En algunos productos lácteos como los quesos procesados o los helados, este actúa como emulsificante, antioxidante y acidificante; mientras que, en bebidas alcohólicas como los vinos y sidras, el ácido cítrico juega un papel importante en la inhibición de la oxidación y ajuste de pH, previniendo el oscurecimiento o enturbiamiento de algunos vinos blancos. No obstante, su aplicación no se limita únicamente a la industria alimentaria, también se utiliza en la industria médica proporcionando la rápida disolución de los ingredientes activos, acidulante en fórmulas astringentes suaves y anticoagulantes, como efervescente en polvos y comprimidos en combinación con bicarbonatos, acción solubilizante para catárticos (medicamentos que aceleran la defecación) y como antioxidante en preparaciones con vitaminas. Además de nuestra alacena y botiquín, también lo podemos encontrar en nada más y nada menos que en nuestros tocadores, pues también es utilizado como agente buffer, ajuste del pH y antioxidante como quelante metálico de litio en la industria de los cosméticos. Como se observa, el ácido cítrico tiene un amplio uso en estos y muchos otros productos, tantos que abarcaría demasiado texto el mencionarlos todos, pero a grandes rasgos nos sirve para darnos una idea del gran impacto que tiene *A. niger* en nuestro día a día.

¿CÓMO SE PRODUCE?

En la actualidad, la producción de ácido cítrico a escala industrial depende casi exclusivamente de la fermentación microbiana, siendo *Aspergillus niger* el protagonista indiscutible. Este ha demostrado ser una «fábrica biológica» espectacular para la obtención de este compuesto gracias a su capacidad para metabolizar diversas fuentes de carbono, especialmente azúcares como la glucosa y la sacarosa, convirtiéndolo en una opción idónea para la producción en masa de ácido cítrico incluso a partir de subproductos agrícolas.

Para ello se utilizan dos procesos: la fermentación sumergida (SmF) y la fermentación en estado sólido (SSF), siendo el primero el más utilizado en la industria y responsable del 90% de la producción de ácido cítrico (Figura 3).

La SmF se prepara un medio líquido que contiene una alta concentración de azúcares (casi siempre derivados de melaza de caña o remolacha). Las esporas de *A. niger* se inoculan en este medio y se incuban a temperaturas óptimas de entre 25-30°C. El pH inicial se ajusta a valores ligeramente ácidos, alrededor de 2-3, esto para favorecer el crecimiento del hongo y, de manera simultánea, evitar el desarrollo de otros microorganismos que pudieran competir por los recursos del medio.

A lo largo de la fermentación, el hongo consume los azúcares disponibles y produce el ácido cítrico como un subproducto metabólico. Para optimizar su producción, se añaden componentes como el sulfato de magnesio y oxalato de amonio, que actúan como cofactores esenciales en las rutas metabólicas del hongo. Además, el ferrocianuro de potasio se utiliza en concentraciones específicas para

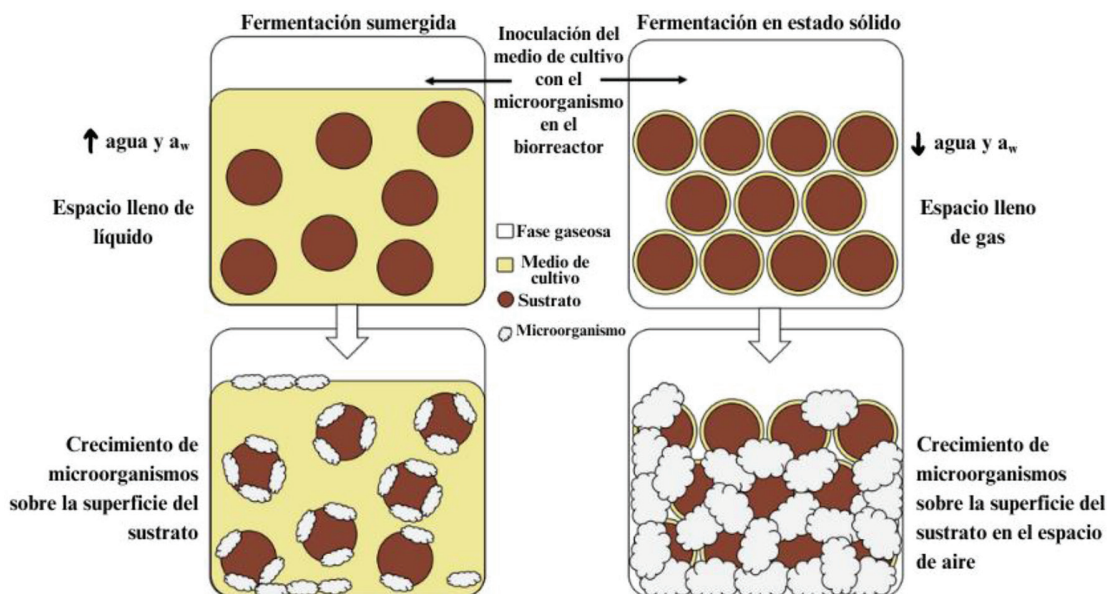


Figura 3. Comparativa entre fermentación sumergida (SmF) y fermentación en estado sólido (SSF). Ilustración adaptada de Garrido-Galand *et al.* (2021). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110398>

inhibir enzimas que descomponen el ácido cítrico, aumentando así el rendimiento total del proceso, el cual puede durar entre 5 y 10 días, dependiendo de la cepa utilizada y las condiciones de cultivo como la aireación y la agitación, las cuales son fundamentales para que el hongo tenga acceso suficiente a oxígeno, pues esto tiene un gran impacto en la eficiencia de la producción.

¿ES SEGURO SU USO?

Ahora que conocemos algunos de los tantos usos del ácido cítrico producto de *Aspergillus niger*, surge cuestionarse qué tan bueno o no-civo puede llegar a ser este compuesto para nuestro consumo si lo comparamos con el obtenido de forma más tradicional a partir de frutas cítricas.

Primero que nada, hay que tener muy claro que, desde una perspectiva química, no existe diferencia alguna entre el ácido cítrico derivado de *A. niger* y el obtenido de las frutas, pues ambos comparten exactamente la misma estructura molecular, por lo que sus propiedades en alimentos y otros productos comerciales son indistinguibles entre sí (Figura 4). Esto significa que, ya sea que provenga de un hongo o de un limón, la funcionalidad del ácido cítrico y sus propiedades no cambian en lo absoluto.

En términos de seguridad, tanto el ácido cítrico natural como el producido por fermentación están aprobados por la FDA (administración de alimentos y medicamentos) bajo la categoría de GRAS (generalmente reconocido como seguro), lo que indica que su consumo no representa un riesgo para la salud si las cantidades no exceden a las recomendadas y uti-

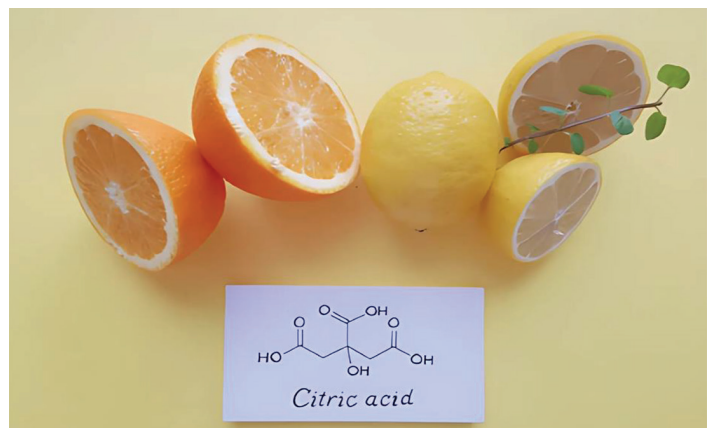


Figura 4. Fórmula química estructural de la molécula de ácido cítrico con frutos de limón y naranja. Fotografía de Danijela Maksimovic, 2019, Shutterstock. <https://www.shutterstock.com/es/image-photo/structural-chemical-formula-citric-acid-molecule-1499985320>

lizadas comúnmente en alimentos y productos farmacéuticos. Además, su uso ha sido respaldado por años de investigación y regulación, lo que refuerza su posicionamiento como un ingrediente seguro para el consumo humano.

No obstante, es importante aclarar que, en muy raros casos, algunas personas con alergias específicas a mohos, como el propio *A. niger*, podrían experimentar reacciones adversas al ácido cítrico derivado de éste. Aunque tales reacciones son extremadamente poco frecuentes, aquellos con predisposición a estas alergias deberían tomar precauciones y evitar productos que lo contengan, optando mejor por aquellos que utilicen ácido cítrico proveniente de frutas, como una opción más segura.

Si bien, algunos estudios han sugerido que el ácido cítrico producto de la fermentación podría estar vinculado a síntomas inflamatorios en individuos sensibles, estas investigaciones aún no han podido demostrar una relación directa concluyente. Por lo que, para la vasta

mayoría de personas, el ácido cítrico en cualquiera de sus formas sigue siendo una opción segura y saludable.

LA LEVADURA MÁS FIESTERA: ¡CREADORA DE PAN, CERVEZA Y BUEN ÁNIMO!

Dentro del mundo de los hongos existe *Saccharomyces cerevisiae*, mejor conocida como la levadura de la cerveza, un hongo unicelular y por lo tanto microscópico. Este pequeño organismo se puede encontrar de manera abundante en la naturaleza en el agua, la tierra y en las plantas, desde las hojas, las flores y la fruta, como en la piel de las uvas.

Además de su principal característica que es la de ser el hongo involucrado en la elaboración y fermentación de la cerveza, también lo es del pan y con una amplia gama de usos en la industria, la medicina y en laboratorio. Tiene usos que van desde el ser utilizada en la producción de detergentes y limpiadores, en la industria farmacéutica en la obtención de vacunas para la hepatitis A y B o la obtención de la insulina (de gran importancia para las personas que padecen de diabetes tipo II); hasta en un uso como modelo biológico para entender de mejor manera el metabolismo del ser humano y el desarrollo de enfermedades metabólicas o tumorales como el cáncer.

EL SUPERPODER DE LA LEVADURA: TRANSFORMAR AGUA EN MAGIA (BUENO, CASI)

Este peculiar organismo produce las tan ansiadas bebidas alcohólicas en las fiestas, tales como el vino, el tequila o la cerveza y muchas

otras que se logran mediante la fermentación alcohólica de los azúcares. La levadura obtiene energía a partir de compuestos orgánicos, en este caso los azúcares y los transforma en otros compuestos químicos más simples como el dióxido de carbono, ácidos y el tan esperado alcohol.

Pero ¿es mejor que se produzca agua o alcohol? La levadura prefiere no producir el alcohol y solo lo hace bajo ciertas condiciones, por ejemplo, el nivel de azúcar muy alto o el nivel de oxígeno muy bajo. Aunque pueda realizar fermentación alcohólica este curioso hongo prefiere la respiración aeróbica porque le permite obtener el máximo de energía de una molécula de glucosa cuando está en presencia de bastante oxígeno en el ambiente.

Sin embargo, se debe de mencionar que no todos los tipos de levadura crean la misma cerveza. Existen 2 especies que son mayormente utilizadas para elaborar cerveza: *Saccharomyces cerevisiae*, la utilizada desde hace siglos por nuestros antepasados, o levadura **ale** y la *Saccharomyces pastorianus*, la levadura **lager**, la cual es un híbrido que se originó entre el hongo *Saccharomyces cerevisiae* y la *Saccharomyces eubayanus*.

Las levaduras **ale** o levaduras de alta fermentación trabajan fermentando la cerveza a temperaturas mayores que las levaduras **lager** (entre 10 y 25°C) y al final de la fermentación las **ale** se quedan en la parte superior del tanque de fermentación (Figura 5). Dentro de los estilos de cerveza que están elaborados con esta levadura están las Pale Ale, las famosas cervezas IPA, las cervezas de trigo, Porter, Stout, entre otras.

Mientras que las levaduras **lager** o de baja fermentación suelen fermentar a tempera-

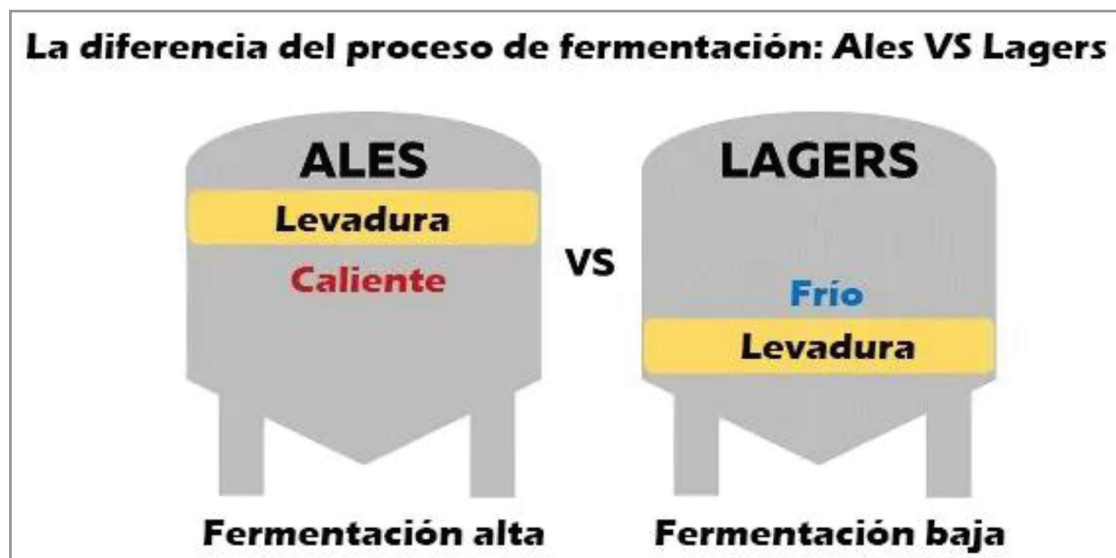


Figura 5. Fermentación Ales y Lagers. Ilustración de Rodríguez I., 2017. <https://cervecing.es/guia-de-levaduras/>

turas más bajas que las ale (7 a 15°C) y una vez finalizada la fermentación se quedan en el fondo del tanque (Figura 5). Y englobando algunas de las cervezas que son elaboradas con este tipo de levadura de fermentación inferior están las cervezas pale lager doradas más comunes como Dortmunds, Bocks y licores de malta estadounidenses (Figura 6).



Figura 6. Cerveza de levadura ale (izquierda) y cerveza proveniente de levadura lager (derecha). Fotografía tomada de Flowers, J. 2016. <https://learn.kegerator.com/lager-vs-ale/>

¿POR QUÉ A LA LEVADURA LE ENCANTA HACER VINO? ¿Y QUIHÚBOLE CON EL PAN?

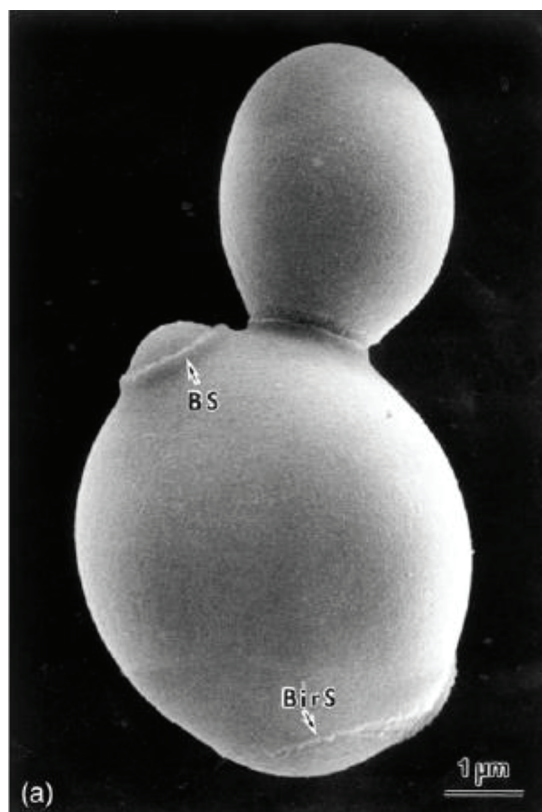
Por otra parte, *Saccharomyces cerevisiae* no solo es utilizado en la fermentación de las bebidas alcohólicas sino también como el escalón (y vital) empujón extra que ayuda al pan a ser tan esponjoso. Ello también provocado por el dióxido de carbono producido durante la ya comentada fermentación, el CO₂ (o dióxido de carbono para los amigos) forma burbujas que son atrapadas por una masa elástica, resultando de la mezcla de las proteínas de la harina y el agua: el gluten (Figura 7).

A la levadura no le encanta precisamente intervenir en el proceso del pan y el vino ya que prefiere la fermentación aeróbica cuando en el ambiente hay oxígeno en abundancia, ya que, cuando entra en una fermentación anaerobia consigue solo el 8% de energía por 1 molécula de glucosa por este medio, contrario a todo lo que puede aprovechar cuando se en-



Figura 7. Representación ilustrativa de usos que puede tener la levadura y donde se encuentra. A) Uvas en un viñedo. B) Pan artesanal. Imágenes generadas por Grok, creado por xAI.

cuentra en un ambiente rico en oxígeno. Entre más energía tenga puede reproducirse con facilidad creando nuevas células hijas (Figura 8), siendo la reproducción uno de los principios básicos para la supervivencia de cualquier ser vivo.



UN MODELO PARA ESTUDIAR LA VIDA

Utilizada al principio como elemento vital para la fermentación y su uso alimentario, llevaba un tiempo circulando en la industria cuando en el siglo XX dio un salto a los laboratorios y se empezó a utilizar como una herramienta para estudiar el funcionamiento de las células eucariotas. La levadura es un organismo que se puede cultivar con facilidad en laboratorio bajo las condiciones adecuadas y soportaba técnicas de manipulación genética sin mayores complicaciones. Por lo anterior, a mediados de los 80s, se observó que podía ser un organismo modelo perfecto para modificar las células con ADN recombinante sin afectar el resto del genoma. Estos avances han llegado a tal punto

Figura 8. Características generales de células de levadura: Levadura en gemación *Saccharomyces cerevisiae*; BS = Cicatriz de yema; Bir S = Cicatriz de nacimiento. Imagen tomada de Osumi, M., 2012. Visualization of yeast cells by electron microscopy. *Journal of electron microscopy*, 61(6), 343-365.

que actualmente se puede combinar, cambiar o eliminar cualquiera de los 12 millones de pares de bases de su ADN sin comprometer el genoma no seleccionado. Esta condición de la levadura, de reemplazar o eliminar sus genes, le proporciona una ventaja en la experimentación en laboratorio y sus aplicaciones.

No obstante, esto no es lo único que lo hace un organismo ideal para comprender la vida. De los 12 millones de pares de bases y 6,000 genes que tiene *S. cerevisiae*, se conoce la función de cada uno de ellos. ¡Sí, de todos ellos!

Su importancia radica en que en torno de una tercera parte de los genes de *S. cerevisiae* se encuentran de igual manera en el ser humano y realizan funciones, en muchos casos, similares. Resultando en que el sistema celular de la levadura sea bastante parecido al del ser humano en cuestiones de la división celular, en la respuesta al estrés o al metabolismo primario.

Además, gran parte de su genoma corresponde a genes que en el ser humano están íntimamente relacionados a enfermedades hereditarias, metabólicas o de tipo oncológico (cáncer).

Es por la aproximación de los genes y la similitud de los sistemas que para los científicos funciona como un arquetipo para entender diferentes aspectos del cáncer y el envejecimiento por los genes implicados en el control del ciclo celular.

LA LEVADURA COMO INGREDIENTE SECRETO EN LA MEDICINA

Cuando se llegó a conocer en su totalidad su genoma y su similitud con el del ser humano la ciencia y los avances tecnológicos no pararon. Se manipuló de tal manera la levadura que se

buscó en qué tipo de afecciones podría resultar beneficiosa.

Fue modificada genéticamente para que pudiese generar en sus células, de manera natural, la proteína que permite en el hombre generar una respuesta y protegerse de la hepatitis B. Posteriormente se utilizó para el desarrollo de la vacuna de la hepatitis A, para la creación de antitoxinas y logró finalmente la creación de glucagón e insulina.

Igualmente, la levadura tiene una aportación en la creación de fármacos y productos farmacéuticos como lo son el opio y la morfina. Los cuales son elementos utilizados en medicamentos para combatir el dolor de manera ágil y eficaz, sin los cuales muchas afecciones crónicas y enfermedades afectarían de manera grave la calidad de vida de quien las experimenta.

Agregado a esto, la levadura también puede ayudar en la producción de las amilasas, pectinasas y glucanasas, las cuales son enzimas implicadas en la elaboración de jugos frutales al brindarles ciertas propiedades para modificar su apariencia, textura, aroma o sabor (Figura 9).

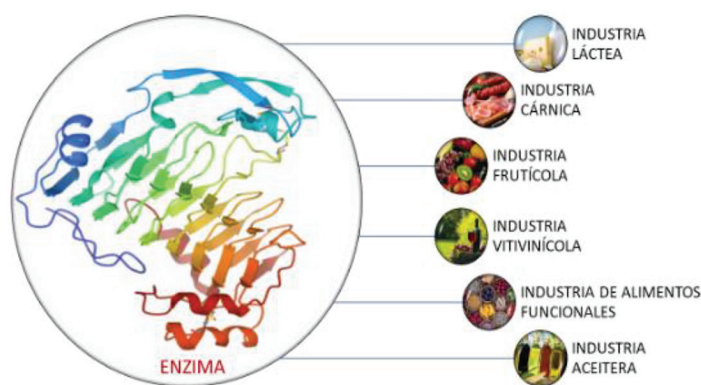


Figura 9. Modelo de enzima y representación de su uso en diferentes industrias. Imagen PROTECH: Biotecnología y Diseño de proteínas, 2024. <https://protechlab.cl/enzimas-industriales/>

Es así como un pequeño hongo unicelular, aparentemente limitado a la fermentación y la producción de alcohol, resulta ser una pieza clave en la creación de medicamentos y en la comprensión de los procesos celulares humanos.

CONCLUSIÓN

Más allá de su diminuto tamaño, *Aspergillus niger* y *Saccharomyces cerevisiae* han revolucionado diversas industrias gracias a su capacidad para transformar compuestos y facilitar procesos biológicos. Su impacto va desde la mejora de la conservación de alimentos hasta la producción de medicamentos esenciales. Gracias a los avances en tecnología, medicina y biología molecular, hemos aprendido a aprovechar estos organismos, transformándolos en herramientas fundamentales para múltiples áreas del conocimiento y el bienestar humano. Estos hongos no solo nos muestran el potencial de la biotecnología, sino que también nos recuerdan que en el mundo microscópico se esconden grandes soluciones para el futuro.

LITERATURA RELEVANTE

Actividades - Fundación Ramón Areces. (s.f.). Intermark IT. <https://www.fundacionareces.es/fundacionareces/es/actividades/la-levadura-un-organismo-modelo-para-la-investigacion-biomedica.html>

Cairns, T. C., Zheng, X., Feurstein, C., y Zheng, P. (2022). *How a fungus shapes biotechnology: 100 years of Aspergillus niger research*. 9(January), 1-15. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.820088>

Estruch. (2023, 18 mayo). Identificación de cepas de levadura de interés enológico - Acenología. Acenología. https://www.acenologia.com/ciencia52_1/

Papagianni, M. (2004). Fungal morphology and metabolite production in submerged mycelial processes. 22, 189-259. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2003.09.005>

Suárez-Machín, C., Garrido-Carralero, N. A., y Guevara-Rodríguez, C. A. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 50(1), 20-28. <http://www.reibci.org/publicados/2015/mayo/1000102.pdf>

Taylor, P., Show, P. L., Oladele, K. O., Siew, Q. Y., Abdul, F., y Zakry, A. (2015). Overview of citric acid production from *Aspergillus niger*. *Frontiers in Life Science*, May, 37-41. <https://doi.org/10.1080/21553769.2015.1033653>

La mariposa monarca: el espíritu alado de los Purépechas

Victor Manuel Almaraz Valle¹, José Manuel Vázquez Navarro²,
Manuel Alejandro Tejeda Reyes³ y Jaime Alfredo Urzua Gutierrez³

RESUMEN. Cada otoño, las mariposas monarca recorren el cielo de América del Norte por más de 4,000 kilómetros hasta los bosques de oyamel en Michoacán, donde el silencio se convierte en un tapiz viviente. Guiadas por un instinto ancestral, estas mariposas desafían tormentas, campos, montañas y ciudades, impulsadas por la necesidad de sobrevivir al invierno. En lo alto de los árboles, entre niebla y frescura, reposan por meses hasta la primavera.

Más que insectos, las monarcas son símbolos de esperanza y renacimiento. Para los purépechas, su llegada en noviembre no es casual, son las almas de los niños que regresan en Día de Muertos. Así, ciencia y tradición se entrelazan en este milagro migratorio que nos recuerda que incluso lo más frágil puede emprender los viajes más asombrosos.

Palabras clave: patrimonio natural, migración, mariposa monarca.

INTRODUCCIÓN

En las montañas de Michoacán, se pueden observar los bosques de oyamel (*Abies religiosa*) entre la faja volcánica, cubiertos por un leve manto de neblina matinal. De pronto, en un abrir y cerrar de ojos, los árboles cobran vida, miles de alas anaranjadas y negras revolotean entre el oyamel, rompiendo el silencio con un susurro suave. No es un sueño ni una escena de película; es la llegada anual de la mariposa monarca (*Danaus plexippus* L.), una viajera que no conoce fronteras. Recorre miles de kilómetros desde el norte del continente hasta este rincón de México.

¹ Posgrado en Fitosanidad - Entomología y Acarología, Colegio de Postgraduados. almarazkrae@gmail.com

² Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. manuelvazna@hotmail.com

³ Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. manuel.tejera.r@gmail.com; jaime.urzua.85@gmail.com

Recibido: 06/10/2025

Aceptado: 16/10/2025

Publicado: 27/10/2025

UN INSECTO EXTRAORDINARIO

La mariposa monarca es mucho más que un insecto bonito. Su vida está conformada por un ciclo completo en el que su estado inmaduro (larva) nace de un huevo, se transforma en una crisálida y finalmente se convierte en un adulto alado (Figura 1). Además, su coloración no es solo estética; advierte a depredadores sobre su toxicidad, adquirida al alimentarse de las diferentes especies de las plantas de algodoncillo (*Asclepias* spp.) durante la etapa juvenil.

Esta especie se distingue por tener generaciones estivales de corta vida, que apenas alcanzan unas semanas, y una generación especial de otoño, longeva, que puede vivir hasta ocho meses gracias a un proceso fisiológico llamado diapausa estacional, un estado de reposo que les permite reducir su actividad y conservar energía durante el invierno. Es esta generación la que viaja desde el sur de Canadá hasta las montañas de Michoacán, donde hiberna durante la estación fría.

ALIMENTACIÓN CON PROPÓSITO

Como larvas, se alimentan exclusivamente de *Asclepias*, estas plantas les proporcionan los compuestos químicos que las hacen venenosas para muchos depredadores (Figura 2). Entre las especies de esta planta, podemos encontrar algunas ornamentales como *A. curassavica*, pero de manera silvestre pueden encontrar más de 20 especies de las cuales se puede alimentar. Ya como adultas, buscan el néctar de diferentes flores para mantener su largo viaje (Figura 3). En los Montes Ouachita, por ejemplo, se encuentra una planta llamada *Bidens*



Figura 1. Adulto de la mariposa monarca descansando las alas mientras se alimenta.



Figura 2. Larvas de la mariposa monarca alimentándose de plantas de algodoncillo.



Figura 3. Adultos de monarca alimentándose de flores de la planta ornamental velo de novia.

aristosa también conocida como “mendigo barbudo” que es una de sus preferidas.

UNA MIGRACIÓN SIN IGUAL

Cada otoño, millones de monarcas regresan desde la parte sur de Canadá y el norte de Estados Unidos de América hacia los bosques templados del centro de México entre el Estado de México y Michoacán, recorriendo más de 4 mil km. Esta migración es un fenómeno único en el mundo, impulsado por la necesidad de evitar los inviernos severos en el norte del continente. Para sobrevivir a ese viaje, almacenan grasas durante su trayecto a partir del néctar de las flores.

Durante este tiempo, no se reproducen; únicamente se concentran en llegar a su destino y conservar energía. Entran en hibernación

y se agrupan por miles sobre los árboles de oyamel (Figura 4), allí aprovechan la humedad y frescura del bosque para mantenerse con vida hasta la primavera.

LOS RIESGOS EN EL FENÓMENO MIGRATORIO

Durante su viaje migratorio, las mariposas monarca atraviesan montañas, ríos, campos de cultivo e incluso ciudades; sin duda, muchos de estos paisajes resultan espectaculares a la vista. No obstante, para ellas solo representan el escenario de un largo trayecto hacia sus zonas de hibernación. En este recorrido enfrentan múltiples desafíos, como temperaturas extremas, tormentas invernales y eventos climáticos impredecibles que dificultan su supervivencia. Además, la pérdida de hábitats críticos, como los sitios de reproducción y alimentación –especialmente la desaparición del algodóncillo, planta esencial para la puesta de huevos– obstaculiza el paso de las distintas generaciones de monarca desde el norte de Canadá hasta los bosques del centro de México. A ello se suma la tala ilegal y degradación de los bosques de oyamel, que ha reducido considerablemente las áreas de hibernación. Estas amenazas, combinadas con una drástica disminución poblacional y una alta vulnerabilidad ambiental, han generado una gran preocupación entre científicos, ambientalistas y la sociedad en general por el futuro de esta especie migratoria.

EL REGRESO DE LA VIDA

Al final del invierno, cuando las temperaturas se elevan, las mariposas despiertan y se repro-



Figura 4. Bosque de oyamel sobre el cual prefiere hibernar. Fotografía por Marcelina Hernández.

ducen. En su viaje de regreso hacia el norte, ponen huevos en plantas de algodóncillo por todo el camino, reiniciando así el ciclo de vida, con nuevas generaciones migrando al norte. Este proceso se repite en varias generaciones hasta que nace una nueva generación migratoria que volverá a México.

DESDE AMÉRICA PARA TODO EL MUNDO

Aunque son nativas de América del Norte, las monarcas también han colonizado otras partes del mundo. Sin embargo, es solo en el continente americano donde se da la migración tan descomunal. En otras regiones, como Australia o España, existen poblaciones sedentarias o con movimientos más limitados.

MÁS ALLÁ DE LA BIOLOGÍA, EL ALMA DE LOS FIELES DIFUNTOS

La mariposa monarca no solo fascina por su biología o su hazaña migratoria; también encierra un profundo significado espiritual para los pueblos originarios del centro de México. En la región purépecha de Michoacán, su llegada coincide con las festividades del Día de Muertos, a inicios de noviembre, cuando los habitantes preparan altares adornados con flores de cempasúchil, velas, pan de muerto y alimentos tradicionales para recibir a las almas que regresan desde el más allá.

De acuerdo con la tradición, las mariposas monarca representan las almas de los niños fallecidos, que regresan a visitar a sus familias. Su aparición, coincidente con las fechas de la celebración, simboliza el retorno cíclico de la vida y la conexión entre los mundos. Cuando

cubren los árboles de oyamel, su movimiento y colorido evocan la presencia de los espíritus danzando entre la neblina.

Este vínculo espiritual no solo es una metáfora poética: refleja una cosmovisión profundamente ecológica, en la que la naturaleza, los ciclos de los insectos y los ciclos humanos forman parte del mismo tejido vital. La mariposa, con su metamorfosis –de oruga a crisálida y de crisálida a vuelo–, se convierte en símbolo universal de transformación y renacimiento, conceptos centrales también en la espiritualidad purépecha.

En algunas comunidades, como Anganguo, Ocampo y Zitácuaro, los habitantes realizan procesiones, danzas y festivales en honor a las monarcas, agradeciendo su regreso anual y pidiendo por su protección. Para ellos, el bosque no solo es un refugio biológico, sino un santuario sagrado, donde la vida y la muerte se encuentran cada invierno.

Así, la mariposa monarca trasciende su papel de viajera del viento: es mensajera entre mundos, testimonio de la resiliencia natural y espiritual de un pueblo que ha aprendido a mirar en sus alas el reflejo del alma humana.

CONCLUSIÓN

La mariposa monarca es un viajero asombroso que desafía fronteras y adversidades para mantener su ciclo de vida y su legado cultural. Sin embargo, enfrenta serias amenazas derivadas de la pérdida de hábitat, la reducción del algodóncillo, la tala ilegal de los bosques de oyamel y el uso indiscriminado de insecticidas y herbicidas. Estos agroquímicos pueden afectar directamente la supervivencia de los adultos migrantes o interrumpir su ciclo de vida al

eliminar las plantas hospederas y/o reducir la disponibilidad de néctar durante su migración.

Protegerla implica replantear prácticas agrícolas hacia modelos más sostenibles, donde la biodiversidad y la cultura puedan coexistir. Conservar a la monarca no solo es un acto de protección ambiental, sino también una forma de preservar el alma colectiva de los pueblos que la veneran, uniendo ciencia, tradición y esperanza en un mismo vuelo.

LITERATURA RELEVANTE

- Carbajal-Navarro, A., Navarro-Miranda, E., Blanco-García, A., Cruzado-Vargas, A., Gómez-Pineda, E., Zamora-Sánchez, C., Pineda-García, F., O'Neill, G., Gómez-Romero, M., Lindig-Cisneros, R., Johnsen, K., Lobit, P., López-Toledo, L., Herrerías-Diego, Y., y Sáenz-Romero, C. (2019). Ecological restoration of *Abies religiosa* forests using nurse plants and assisted migration in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00421>
- Dockx, C. (2012). Differences in phenotypic traits and migratory strategies between eastern North American monarch butterflies, *Danaus plexippus* (L.). *Biological Journal of The Linnean Society*, 106(4), 717-736. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8312.2012.01916.X>
- Dockx, C., Hobson, K., Kronforst, M., Kardynal, K., Pozo, C., Schuster, J., Green, D., Dix, M., Nallu, S., y Lynch, S. (2023). Migration of Eastern North American monarch butterflies via the South-east and the Atlantic: evidence from stable isotopes, thin layer chromatography, DNA and phenotype. *Biological Journal of the Linnean Society*, 139(3), 294-325. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blac146>
- James, D., y Kappen, L. (2021). Further insights on the migration biology of monarch butterflies, *Danaus plexippus* (Lepidoptera: Nymphalidae) from the Pacific Northwest. *Insects*, 12(2), 161. <https://doi.org/10.3390/insects12020161>
- Malcolm, S. (2018). Anthropogenic impacts on mortality and population viability of the monarchbutterfly. *Annual Review of Entomology*, 63, 277-302. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043241>
- Rudolph, D. C., Ely, C. A., Schaefer, R. R., Williamson, J. H., y Thill, R. E. (2006). Monarch (*Danaus plexippus* L. Nymphalidae) migration, nectar resources and fire regimes in the Ouachita Mountains of Arkansas. *Journal of the Lepidopterists' Society*, 60(3), 165-170.
- Semmens, B. X., Semmens, D. J., Thogmartin, W. E., Wiederholt, R., López-Hoffman, L., Diffendorfer, J. E., Pleasants, J. M., Oberhauser, K. S., y Taylor, O. R. (2016). Quasi-extinction risk and population targets for the Eastern, migratory population of monarch butterflies (*Danaus plexippus*). *Scientific Reports*. 6: Article 23265. <https://doi.org/10.1038/srep23265>
- Van Devender, T. R., y Reina-Guerrero, A. L. (2022). Monarch butterflies in Sonora and adjacent northwestern Mexico. *Dugesiana*, 29(2). <https://doi.org/10.32870/dugesiana.v29i2.7249>

Bajo la sombra del lobo: lo que debes saber sobre el lupus

Cecilia Nalibeth Cruz Arreola¹, Liza D. Kelly Gutiérrez²,
Martín A. Aréchiga Palomera³ y Fernando Vega-Villasante⁴

RESUMEN. El lupus es una enfermedad en la que el cuerpo, en vez de defenderse, se confunde y se ataca a sí mismo. Aunque cualquiera puede tenerlo, afecta sobre todo a mujeres jóvenes. A veces se nota con cansancio extremo, dolor en las articulaciones o manchas en la cara, pero cada persona lo vive diferente. No hay una cura, pero sí tratamientos que ayudan a controlar los síntomas y mejorar la calidad de vida. También es muy importante cuidar la salud emocional. Con información, apoyo y buen seguimiento médico, se puede vivir bien con lupus. Este texto quiere ayudarte a entenderlo mejor y a quitarle un poco el miedo.

Palabras clave: enfermedad autoinmune, síntomas, tratamiento, apoyo emocional, esperanza.

EL LOBO

A veces el cuerpo se convierte en un territorio incierto. Lo que antes te protegía comienza, de pronto, a confundirse: el guardián se vuelve cazador. Es el momento en que el sistema inmunológico, ese ejército silencioso que combate infecciones y heridas, comete un error y ataca a su propio hogar. A ese misterio clínico y humano lo llamamos lupus.

¹ Licenciatura en Biología. Departamento de Ciencias Biológicas. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

² Departamento de Ciencias Biológicas. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

³ Coordinación de la Licenciatura en Biología. Departamento de Ciencias Biológicas. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

⁴ Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental. Departamento de Ciencias Biológicas. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

Recibido: 07/03/2025

Aceptado: 20/10/2025

Publicado: 27/09/2025



Figura 1. Imagen generada con la IA ChatGPT.

El nombre proviene del latín *lupus*, que significa «lobo». Los antiguos médicos decían que las erupciones rojas en forma de mariposa sobre la cara de quienes lo padecían les recordaban las marcas de un mordisco. Desde entonces, la metáfora del lobo ha acompañado a quienes viven con esta enfermedad autoinmune: un animal que ronda, a veces dormido, a veces despierto, pero siempre cerca.

El lupus puede manifestarse de muchas maneras. A veces llega como un cansancio que no se quita ni con el sueño más largo; otras, como dolor en las articulaciones, fiebre sin explicación o una sensibilidad extrema al sol. Hay quienes lo descubren por esas manchas en el rostro que aparecen sin aviso. Y lo más desconcertante: los síntomas van y vienen, como las estaciones, sin que el cuerpo logre predecirlos.

Si lo padeces, sabes que no hay dos historias iguales. Cada organismo inventa su propio idioma para hablar del lupus. En algunas personas afecta la piel; en otras, los riñones, el corazón o los pulmones. Puede presentarse en hombres o mujeres, aunque son ellas —especialmente entre los 15 y 44 años— quienes más suelen sentir su paso. En México, se calcula que unas veinte personas de cada cien mil

lo enfrentan, casi siempre en silencio, aprendiendo a convivir con el lobo.

Nadie sabe con certeza qué lo provoca. Los científicos han seguido huellas que apuntan hacia la genética, las hormonas femeninas y los factores ambientales como la exposición al sol o ciertas infecciones. Es, en esencia, una conspiración de pequeños desajustes que se unen para confundir al cuerpo.

El diagnóstico no siempre es sencillo. No existe una prueba única que confirme su presencia; en cambio, los médicos observan una constelación de síntomas, estudios de sangre y antecedentes clínicos. Cuando al menos cuatro de los signos característicos aparecen —erupciones, dolor articular, fatiga, afectaciones renales—, el rompecabezas comienza a tomar forma.

Aunque no hay una cura definitiva, sí hay tratamientos que permiten llevar una vida ple-

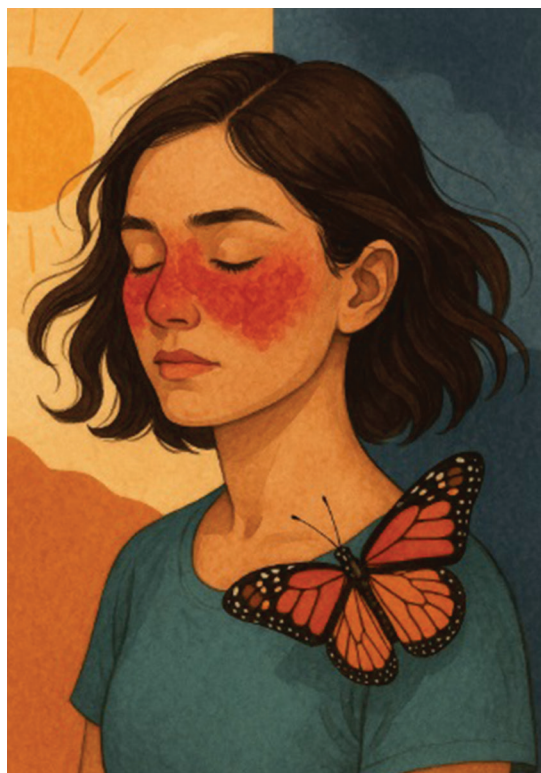


Figura 2. Imagen generada con la IA ChatGPT.

na. Los antiinflamatorios ayudan con el dolor; los corticoides y los inmunosupresores reducen la actividad del sistema inmune; y, más recientemente, los medicamentos biológicos como el belimumab ofrecen terapias más específicas. Pero más allá de los fármacos, el cuidado diario es un acto de disciplina y esperanza: evitar el sol, descansar bien, alimentarse de manera equilibrada, mantener a raya el estrés y no olvidar el protector solar.

Vivir con lupus implica aprender a escuchar el cuerpo, a reconocer cuándo el lobo se inquieta. También significa cuidar la mente, porque la fatiga y la incertidumbre pueden volverse pesadas compañeras. Muchos pacientes enfrentan ansiedad o depresión, sobre todo cuando los brotes limitan su vida cotidiana. Por eso, el apoyo emocional es tan importante como el médico: hablar de lo que se siente, buscar grupos de apoyo, compartir la carga invisible.

Y si no tienes lupus, pero conoces a alguien que sí, recuerda: el acompañamiento es una medicina poderosa. Una conversación sin juicios, una llamada, un gesto de comprensión pueden ser más valiosos que cualquier pastilla.

El lupus no es una condena. Hoy sabemos más que nunca sobre él, y los tratamientos permiten controlar los brotes y prevenir daños severos. Quien lo padece no debe definirse por la enfermedad, sino por la fuerza con que la enfrenta.

El lobo, en realidad, no siempre es enemigo. A veces solo quiere recordarnos que el cuerpo y la mente están hechos del mismo misterio, y que cuidarlos exige paciencia, compasión y ciencia. Cuando logras conocerlo, el miedo se transforma. El lobo deja de morder y camina a tu lado, enseñándote, cada día, a vivir sin miedo bajo su sombra.



Figura 3. Imagen generada con la IA ChatGPT.

LITERATURA RELEVANTE

- Enríquez-Mejía, M. G. (2013). Fisiopatología del lupus eritematoso sistémico [Systemic lupus erythematosus pathophysiology]. *Revista de Medicina e Investigación*, 1(1), 8-16.
- Mayo Clinic. (2024). *Lupus*. <https://www.mayoclinic.org>
- NIAMS. (2023). *Lupus*. <https://www.niams.nih.gov>
- Lupus Research Alliance. (2023). *What is lupus?* <https://www.lupusresearch.org>
- Lupus Foundation of America. (2022). *Understanding lupus*. <https://www.lupus.org>
- Hernández Ledesma, A. L. (2024). Origen, objetivos y rutas del Registro Mexicano de Lupus. *Revista Lúpica*. <https://cetlu.com.mx/articulos/39-articulo/>

La bioinformática en el reúso de medicamentos contra el cáncer

Anne Santerre¹, Sara Elisa Herrera Rodríguez²,
Flor Yohana Flores Hernández², María del Rosario Huizar López¹,
Josefina Casas Solís¹ y Ahtziri Socorro Carranza Aranda³

RESUMEN. El reposicionamiento de medicamentos consiste en utilizar moléculas farmacéuticas ya existentes para tratar padecimientos diferentes de aquellos para los que fueron desarrollados originalmente. Esta estrategia ha adquirido gran relevancia tanto en la industria farmacéutica como en la práctica clínica y su éxito se relaciona estrechamente con los avances de la bioinformática. Durante los últimos 25 años las herramientas bioinformáticas han facilitado la búsqueda racional y sistemática de moléculas con potencial terapéutico, impulsando el desarrollo de tratamientos oncológicos innovadores y seguros, así como para enfermedades emergentes o pa-

tologías que aún carecen de terapias eficaces. En particular, las investigaciones recientes han abierto nuevas oportunidades para identificar fármacos más específicos y eficaces contra la leucemia especialmente la Leucemia Mieloide Aguda (LMA), una forma grave de este cáncer hematológico que presenta una alta tasa de mortalidad en personas adultas y para la cual existen pocos tratamientos efectivos o seguros. Las estrategias de reposicionamiento permiten acelerar la identificación de moléculas de origen natural o sintético capaces de corregir de manera más precisa y con menos efectos secundarios las alteraciones celulares características de la LMA. Estos enfoques pue-

¹ Departamento de Biología Celular y Molecular, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. anne.santerre@academicos.udg.mx; mariadelrosario.huizar@academicos.udg.mx; josefina.casas@academicos.udg.mx

² Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. sherrera@ciatej.mx; fflores@ciatej.mx

³ Departamento de Disciplinas Filosóficas, Metodológicas e Instrumentales, Centro Universitario de Ciencias de la Salud de la Universidad de Guadalajara. ahtziri.carranza@academicos.udg.mx

Recibido: 29/10/2025

Aceptado: 03/11/2025

Publicado: 05/11/2025

den complementar las terapias actuales, contribuyendo a mejorar la esperanza y calidad de vida de los pacientes.

Palabras clave: reposicionamiento farmacológico, leucemia, modelado de proteínas, acoplamiento molecular, innovación terapéutica.

REPOSICIONAMIENTO: DE LA MERCADOTECNIA A LA MEDICINA

El término «reposicionamiento» se utiliza en ámbitos tan diversos como la mercadotecnia y la medicina. En mercadotecnia, esta estrategia ha sido utilizada por empresas para lanzar nuevos productos o servicios y adaptarse a un mercado cambiante, de forma creativa e innovadora.

Para comprender mejor la idea de reposicionamiento, pensemos en algunos ejemplos de productos cotidianos, que fueron diseñados para un propósito específico, pero que posteriormente se redirigieron, a veces de manera casual o accidental, hacia una nueva aplicación:

- los Post-it®, surgieron de un intento fallido de crear un adhesivo ultra fuerte. El resultado fue justo lo contrario: un adhesivo débil, ideal para notas removibles;
- la Coca-Cola®, fue inventada originalmente como bebida medicinal, antes de transformarse en una bebida azucarada;
- el Play-Doh® comenzó como un limpiador de papel tapiz antes de convertirse en una popular plastilina;
- el Listerine®, se creó como antiséptico quirúrgico antes de emplearse como enjuague bucal.

En el campo de la medicina, el reposicionamiento implica la búsqueda nuevos usos para

medicamentos ya existentes. En ocasiones, fármacos desarrollados originalmente para una enfermedad resultan ser más eficaces en el tratamiento de otro padecimiento. En este sentido, la ciencia les concede «una segunda vida», abriendo la puerta a tratamientos más innovadores y accesibles con una menor inversión ya que se acortan los tiempos de investigación y desarrollo de estos.

En concreto en el área médica el reposicionamiento farmacológico se refiere a la estrategia de tomar un fármaco ya aprobado para un padecimiento específico y darle un nuevo uso clínico, optimizando así su aprovechamiento en el tratamiento de otra enfermedad. Este concepto fue propuesto por Ashburn y Thar en 2004.

Históricamente el reposicionamiento de medicamentos se remonta a la década de 1950, cuando algunos fármacos cambiaron su uso de manera casual (serendipia), ya sea a partir de la observación y el seguimiento empírico de efectos secundarios inesperados, o mediante la evaluación de su actividad en el laboratorio. Algunos ejemplos destacados incluyen los siguientes fármacos:

- Sildenafil (Viagra) que fue desarrollado originalmente para tratar enfermedades como angina de pecho e hipertensión pulmonar y se convirtió en un fármaco altamente exitoso para la disfunción eréctil.
- Talidomida fracasó en su uso original (provocaba malformación en recién nacidos), pero hoy se usa en el tratamiento de la lepra y algunos tipos de cáncer.
- Ácido acetilsalicílico (aspirina) usado como analgésico y para controlar la fiebre, actualmente también previene infartos y

trombosis a baja dosis (como antiagregante plaquetario).

- Metotrexato, originalmente utilizado en quimioterapia, ahora se utiliza para tratar artritis reumatoide y otras enfermedades autoinmunes.
- Metformina derivada de la planta *Galega officinalis*, se intentó usar como antipalúdico, pero se consolidó como el medicamento más recetado en todo el mundo para la diabetes tipo 2.

Existen muchos otros ejemplos de medicamentos que han cambiado de uso a lo largo de los años y son exitosos en sus nuevas aplicaciones. No obstante, el reposicionamiento ya no depende únicamente de la observación de efectos secundarios o de la evaluación de actividades biológicas en el laboratorio, si no que involucra ahora el uso de nuevas tecnologías computacionales que han permitido procesos más preciso, eficiente y menos costoso.

LA BIOINFORMÁTICA EN EL REPOSICIONAMIENTO FARMACOLÓGICO

Durante los últimos 25 años, el reposicionamiento de moléculas farmacéuticas se ha beneficiado de las nuevas tecnologías bioinformáticas que han hecho cada vez más eficiente la identificación de nuevos usos a los medicamentos existentes. Estas herramientas y el entrenamiento de los investigadores en su uso, combinados con el conocimiento biológico previo sobre las moléculas candidatas han permitido buscar moléculas con alta afinidad (capacidad de unión fuerte) hacia un blanco terapéutico específico responsable de la enfer-

medad –por ejemplo, una proteína receptora defectuosa o deficiente– y regular su actividad de manera correcta.

La identificación de compuestos activos contra un blanco terapéutico específico es fundamental para el desarrollo o reposicionamiento de medicamentos, por lo que se han establecido dos estrategias, la convencional y la no convencional.

La estrategia convencional se realiza en el laboratorio mediante «tamizaje de alto rendimiento» (HTS, por sus siglas en inglés, *High Throughput Screening*) que consiste en evaluar sistemáticamente la actividad de compuestos químicos en cultivos celulares (*in vitro*) y en organismos vivos, (*in vivo*) para determinar su efecto y eficiencia contra un padecimiento específico.

Sin embargo, los HTS requieren una infraestructura especializada y gran inversión económico y profesional, y periodos prolongados de evaluación de cada molécula (10-17 años) lo que limita el número de compuestos que pueden analizarse. Por tal motivo, a partir de 2010 se desarrollaron estrategias alternativas basadas en análisis computacionales (*in silico*) para la búsqueda de moléculas específicas contra blancos terapéuticos concretos. Una de estas estrategias es el «tamizaje virtual basado en la estructura proteica» (SBVS, por sus siglas en inglés, *Structure-Based Virtual Screening*) que permite evaluar bibliotecas completas de moléculas en 3D (modelos tridimensionales).

Por ejemplo, Zinc15 (<https://zinc15.docking.org/>) es un repositorio de acceso gratuito a estructuras 3D de más de 230 millones de moléculas. Esta base incluye catálogos de moléculas, tanto de origen natural como sintéticos, aprobadas en diferentes partes de mundo, así

como moléculas huérfanas (sin uso actual) o retiradas del mercado. Zinc15 alberga una alta diversidad de moléculas, esto permite identificar compuestos con alta afinidad hacia un blanco terapéutico específico, que generalmente es una proteína defectuosa implicada en la enfermedad. Por ejemplo, el receptor tirosina cinasa FLT3 en la leucemia mieloide aguda (LMA).

Protein Data Bank (PDB, <https://www.rcsb.org/>) es otra base de datos útil para el reposicionamiento que alberga estructuras 3D de más de 249,910 estructuras proteicas cristalizadas para evaluar sus interacciones con fármacos a reposicionar. Cuando se cuenta con la estructura de la proteína blanco se puede seleccionar las moléculas más aptas para unirse a ellas mediante acoplamiento molecular (*molecular docking*) y dinámica molecular (*molecular dynamics*) (Figura 1).

Estas herramientas proporcionan información estructural detallada y permiten además predecir la afinidad (acoplamiento molecular)

y la estabilidad (dinámica molecular) de las interacciones entre moléculas. Cuando más fuerte y estable es la interacción, más específica será su unión y menores los efectos secundarios derivados de uniones inespecíficas.

Finalmente, tras el tamizaje virtual y la selección de moléculas candidatas, se realiza la validación de sus actividades en un entorno biológico real, primero en modelos celulares (*in vitro*) y posteriormente en modelos preclínicos (*in vivo*), antes de su evaluación en ensayos clínicos.

VENTAJAS DEL REPOSICIONAMIENTO DE FÁRMACOS

Las herramientas bioinformáticas permiten acelerar el proceso de reposicionamiento de medicamentos, reduciendo significativamente tiempo y costo en comparación con los protocolos tradicionales. Además, este enfoque

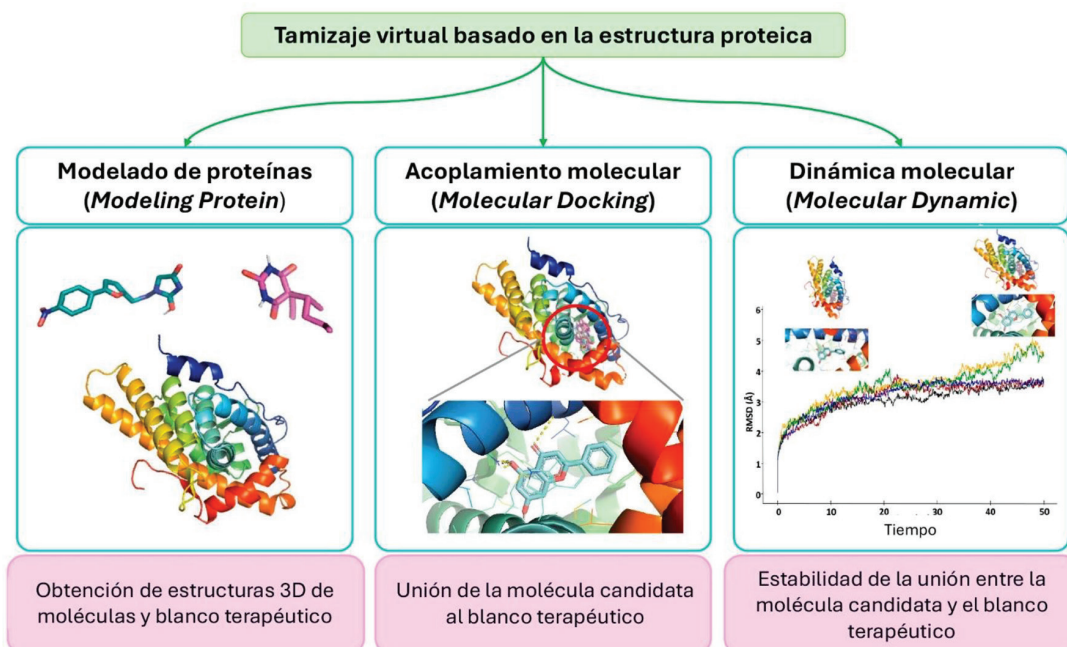


Figura 1. Herramientas bioinformáticas para el «tamizaje virtual basado en la estructura proteica».

aprovecha los conocimientos previos sobre la seguridad, la toxicidad, la dosis, las vías de administración, los posibles efectos secundarios y los mecanismos de acción a nivel celular y molecular e inclusive sistémicos.

Gracias a esta información los tiempos de desarrollo pueden acortarse considerablemente pasando de los 10-17 años a los 3-12 años, de manera más eficiente, precisa, y con menor riesgo para la salud del paciente.

Otra gran ventaja del reposicionamiento farmacológico es la simplificación de los procedimientos regulatorios, lo que facilita el desarrollo de nuevos usos y reduce los costos.

Finalmente, el reposicionamiento de fármacos puede beneficiar al tratamiento de enfermedades para las cuales aún no existen terapias efectivas; por ejemplo, en nuevas enfermedades como el COVID o el cáncer que representan un gran reto para la investigación biomédica.

REPOSICIONAMIENTO DE FÁRMACOS CONTRA EL CÁNCER

El reposicionamiento farmacológico enfocado en el tratamiento del cáncer es un campo muy amplio, ya que dicha enfermedad es compleja y multifactorial. El cáncer puede originarse de múltiples maneras, por lo que sus tratamientos también son diversos y, en la mayoría de los casos, provocan efectos secundarios severos.

Para comprender la complejidad del desarrollo de medicamentos contra el cáncer, es importante entender en qué consiste esta enfermedad. A nivel molecular el cáncer se origina cuando las células del cuerpo sufren cambios (acumulación mutaciones) que afectan a su ciclo normal y comienzan a proliferar de manera descontrolada.

Debido a esas alteraciones las células cancerosas logran multiplicarse y sobrevivir indefinidamente, lo que facilita su propagación a otras partes del cuerpo. A este proceso se le conoce como metástasis, y representa el estadio más avanzado del cáncer.

Durante mucho tiempo se pensó que descubrir nuevas moléculas o medicamentos era la única forma de avanzar en la lucha contra esta enfermedad; sin embargo, el reposicionamiento de fármacos ha cobrado fuerza como una estrategia más rápida, económica y prometedora para desarrollar nuevos tratamientos oncológicos.

Existen casos exitosos de fármacos que han sido reposicionados por segunda vez y hoy en día se utilizan en el tratamiento del cáncer. Por ejemplo, la talidomida, un compuesto sintético inicialmente desarrollado como sedante ha sido reposicionada –junto con algunos de sus derivados– para el tratamiento del mieloma múltiple (cáncer hematológico). Así mismo, la metformina, de origen vegetal (*Ruda cabruna*; *Galega officinalis*) y usada desde años para pacientes con diabetes tipo 2, parece también reducir el riesgo de desarrollar cáncer de mama y colon en pacientes diabéticos. De la misma manera, la aspirina (originaria de la corteza del sauce) podría reducir la inflamación prevenir la recurrencia del cáncer colorrectal.

En México también se investigan moléculas con alto potencial para su reposicionamiento como agentes antitumorales a través de las herramientas bioinformáticas. Por ejemplo, la Olsalazina (fármaco antiinflamatorio) con el propósito de reposicionarlo como agente antitumoral. De manera similar, se han reportado el efecto antitumoral de la Ribavirina (compuesto usado como antiviral) en diversas

líneas celulares tumorales y se propuso reposicionarla para el tratamiento de distintos tipos de cáncer, como los de próstata, mama, colon, glioma y cervicouterino. Asimismo, la Crisina, derivada de *Passiflora* spp. utilizada en la medicina tradicional para enfermedades cardíacas y como antiinflamatorio, se ha estudiado recientemente para su reposicionamiento contra el cáncer de próstata avanzado (Figura 2).

Por otro lado, el reposicionamiento puede apoyarse de la medicina tradicional, enfocando el tamizaje virtual a moléculas de origen natural. Este enfoque busca aprovechar tanto el conocimiento ancestral sobre los extractos vegetales como las herramientas tecnológicas actuales para identificar moléculas con propiedades anticancerígenas, más eficaces que las terapias convencionales. Por ejemplo, en la medicina tradicional mexicana se utilizan numerosos extractos de plantas para el tratamiento del cáncer (Ejemplo, guanábana, camote dulce, kalanchoe), investigaciones sugiere que diversas familias de moléculas, como los flavonoides o algunos derivados de azúcares, son responsables de estos efectos. Así, estos conocimientos pueden ser el punto de partida

de esfuerzos de reposicionamiento, probando las interacciones específicas de estas moléculas activas abundantes en los extractos vegetales (disponibles en Zinc15) contra blancos terapéuticos específicos (obtenidos de PDB).

LA LEUCEMIA

Un tipo de cáncer particularmente agresivo y recurrente es la leucemia, la cual puede afectar tanto a niños como a adultos. En los últimos años la búsqueda de tratamientos más efectivos y específicos contra esta enfermedad mediante estrategias de reposicionamiento de moléculas biológicamente activas ha cobrado gran relevancia en la investigación biomédica.

La leucemia se origina en la medula ósea, el lugar donde se producen los glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas, esenciales para las diversas funciones del cuerpo, como la respuesta inmunológica, la distribución de nutrientes, la oxigenación y el mantenimiento general del cuerpo. Su desarrollo puede deberse por la combinación de factores externos (modificables), como el tabaquismo, la exposición a ciertos químicos y la exposición a ra-

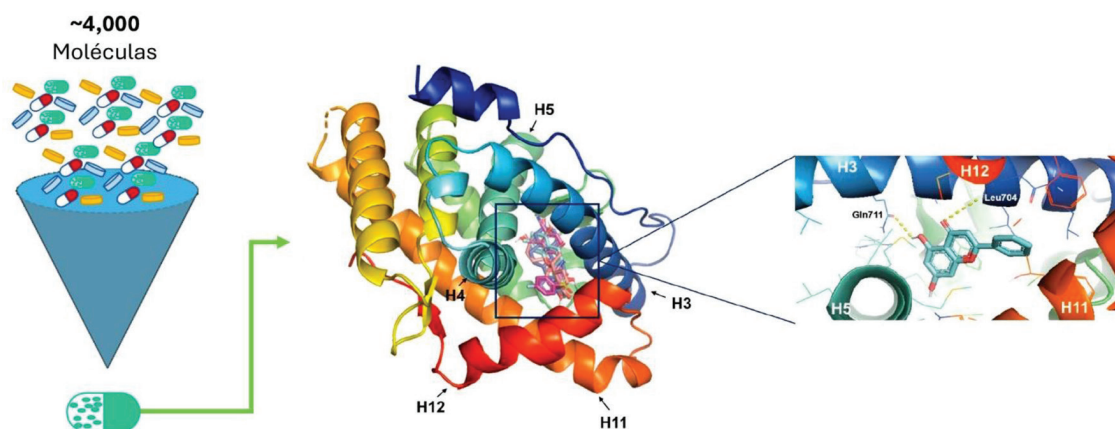


Figura 2. «Tamizaje virtual basado en la estructura proteica» aplicado al reposicionamiento de la molécula Crisina contra el cáncer de próstata (Imagen modificada de Carranza-Aranda *et al.*, 2024).

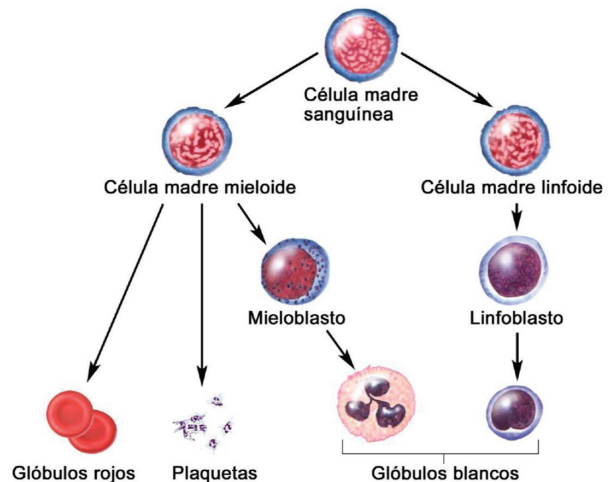
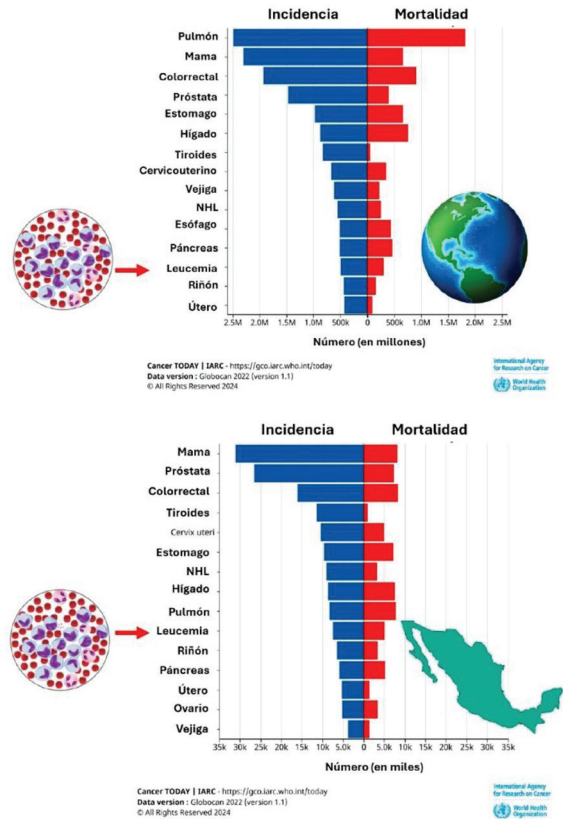
diación ionizante, así como factores internos (no modificables) entre los que se destacan la edad, las mutaciones y la carga hereditaria.

A nivel mundial, en 2020 la leucemia ocupó, el lugar número 13 en incidencia, con 487,294 nuevos casos y el décimo en mortalidad con 305,405 casos. En México este padecimiento es considerado como un problema de salud grave, debido a la tasa de mortalidad con 7,457 nuevos casos y 5,126 defunciones por año. Aunque la leucemia no figura entre los primeros lugares de incidencia a nivel mundial o nacional, más del 50% de los pacientes que la padecen fallecen en un periodo de cinco años (Figura 3).

El progreso y la agresividad de la leucemia tanto en niños como en adultos, se debe a su heterogeneidad, es decir a la diversidad de células afectadas que pueden participar en su desarrollo. Por ellos, las leucemias se clasifican según el linaje y tipo celular afectado, donde las leucemias linfoides son más frecuentes en la población infantil y las leucemias mieloides predominan en adultos. La leucemia mieloide aguda (LMA) es una de las formas más agresivas de la enfermedad en adultos y la que causa el mayor número de decesos por leucemia (Figura 4).

USO DE NUEVAS MOLÉCULAS CONTRA LA LEUCEMIA MIELOIDE AGUDA (LMA)

Debido a que los tratamientos actuales contra la leucemia son ineficaces y poco específicos para ciertos subtipos de LMA, las investigaciones recientes se enfocan en encontrar fármacos que inhiban la proliferación de las células leucémicas. Un blanco terapéutico es el receptor celular FLT3. Varias moléculas se han destacado en investigaciones *in silico* por lo que



podrían ser el punto de partida de tratamientos más específicos y menos costosos contra la LMA. Dos moléculas con alto potencial para su reposicionamiento en LMA son:

- El Bisacodilo fármaco aprobado por la FDA (*Food and Drug Administration*, USA), originalmente utilizado contra el estreñimiento intestinal y recientemente contra la LMA por su capacidad de inhibir a FLT3.
- La Cipargamina fármaco originalmente propuesto contra la malaria, y recientemente estudiado por su potencial inhibitorio de la forma mutada de FLT3 en LMA.

CONCLUSIÓN

El reposicionamiento farmacológico que es una herramienta poderosa para encontrar nuevos usos terapéuticos a medicamentos conocidos. Combina estrategias *in silico*, *in vitro* e *in vivo* y el conocimiento previo sobre estos medicamentos; juntos permiten la selección racional de moléculas afines a blancos terapéuticos precisos en la búsqueda de tratamientos más específicos y seguros. El reposicionamiento representa una estrategia prometedora para el desarrollo de nuevos tratamientos contra el cáncer, en particular contra la leucemia mieloide aguda (LMA).

«Agradecemos a la SECIHTI por el financiamiento otorgado al proyecto CBF-2025-G-87».

LITERATURA RELEVANTE

Assi, R., y Ravandi, F. (2018). FLT3 inhibitors in acute myeloid leukemia: Choosing the best when the optimal does not exist. *American Journal of Hematology*, 93(4), 553-563.

Ashburn, T., y Thor, K. (2004). Drug repositioning: identifying and developing new uses for existing drugs. *Nature Reviews Drug Discovery*, 3, 673-683.

Carranza-Aranda, A. S. (2025). *Identificación in silico de moléculas de origen natural y sintético con alta afinidad al receptor FLT3-ITD y su evaluación antitumoral en un modelo in vitro de leucemia mieloide aguda*. Tesis de Doctorado en Ciencias Biomédicas, Universidad de Guadalajara.

Chen, Y., Rosenkranz, C., Hirte, S., y Kirchmair, J. (2022). Ring systems in natural products: structural diversity, physicochemical properties, and coverage by synthetic compounds. *Natural Product Reports*, 39(8), 1544-1556.

Gokhale, P., Chauhan, A. P. S., Arora, A., Khandekar, N., Nayariseri, A., y Singh, S. K. (2019). FLT3 inhibitor design using molecular docking based virtual screening for acute myeloid leukemia. *Bioinformation*, 15(2), 104-115.

IRAC/WHO. Globocan 2022: Estimated cancer incidence, mortality and prevalence Worldwide in 2022. Consultado el 20 de diciembre de 2024 http://globocan.larc.fr/Page/fact_sheets_population.aspx

Jourdan, J. P., Bureau, R., Rochais, C., y Dalletmagne, P. (2020). Drug repositioning: a brief overview. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 72(9), 1145-1151.

Plewczynski, D., Łazniewski, M., Augustyniak, R., y Ginalski, K. (2011). Can we trust docking results? Evaluation of seven commonly used programs on PDBbind database. *Journal of Computational Chemistry*, 32(4), 742-755.

Plantas medicinales y nanotecnología: una alianza contra las bacterias patógenas

Jorge Luis Torres López^{1,2} y Sergio Gómez Cornelio^{1,3}

RESUMEN. La resistencia a los antibióticos crece en todo el mundo y amenaza con devolvernos a una era en la que las infecciones bacterianas comunes vuelvan a ser peligrosas. Una solución prometedora viene de la naturaleza: aprovechar extractos de plantas medicinales para “potenciar” materiales diminutos con mayor actividad antimicrobiana, como las nanopartículas. Sus compuestos naturales actúan como microtalleres químicos que transforman sales de metales como plata, zinc o cobre en partículas estables capaces de atacar a las bacterias por varios frentes: dañan sus membranas, generan especies reactivas de oxígeno e interfieren con procesos vitales. Este enfoque busca soluciones eficaces y más amigables con el medio ambiente, con aplicaciones en salud, alimentos y recubrimientos.

Los principales desafíos son estandarizar la producción, garantizar la seguridad y escalar los procesos, pero el panorama es alentador: la unión entre saberes tradicionales y ciencia moderna abre camino a antimicrobianos más seguros y sostenibles.

Palabras clave: bacterias patógenas, antimicrobianos, resistencia microbiana, nanotecnología verde, plantas medicinales.

INTRODUCCIÓN

¿Puede una planta ayudarnos a combatir bacterias que ya no responden a los antibióticos? Cada año, millones de personas mueren por infecciones resistentes a los tratamientos convencionales, y la Organización Mundial de la Salud ha advertido que podríamos estar en-

¹Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Politécnica del Centro.

²División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

³Laboratorio de Nanotecnología, División Académica de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Correo electrónico: sagomezcornelio@gmail.com y quimb51jl@gmail.com

Recibido: 01/09/2025

Aceptado: 03/11/2025

Publicado: 05/11/2025

trando en una era posantibiótica, donde enfermedades que antes eran curables vuelvan a ser mortales. Ante esta amenaza, la ciencia explora caminos distintos a los fármacos de siempre. Uno de los más prometedores une lo ancestral con lo moderno: aprovechar extractos de plantas medicinales para fabricar nanopartículas capaces de destruir bacterias difíciles de tratar.

Las nanopartículas son estructuras tan pequeñas que no pueden observarse con un microscopio convencional. Su tamaño va de 1 a 100 nm (Figura 1); para dimensionarlo, una sola de ellas puede ser hasta mil veces más delgada que un cabello humano. A pesar de su diminuto tamaño, tienen la ventaja de entrar en células, transportar compuestos útiles o actuar como potentes agentes antimicrobianos. Existen distintos tipos, como las metálicas, las de óxidos metálicos y las orgánicas, cada una con propiedades únicas. En particular, las metálicas y las de óxidos metálicos destacan por su estabilidad y versatilidad, lo que ha impulsado su uso en campos tan diversos como la medicina, los cosméticos, los empaques de alimentos o las pinturas con propiedades desinfectantes, por mencionar algunos.

Por otro lado, las plantas medicinales son parte del conocimiento ancestral de muchas culturas, que han usado hojas, raíces, cortezas y flores para aliviar dolencias desde hace siglos. Muchos de esos compuestos siguen siendo investigados por la ciencia moderna. Por ejemplo, la albahaca (*Ocimum basilicum*) se ha sido utilizado tradicionalmente para calmar problemas digestivos, aliviar dolores de cabeza y fortalecer el sistema inmunológico, mientras que la ruda (*Ruta graveolens*) se ha valorado como antiespasmódico y para aliviar dolores menstruales. Estos saberes populares no solo

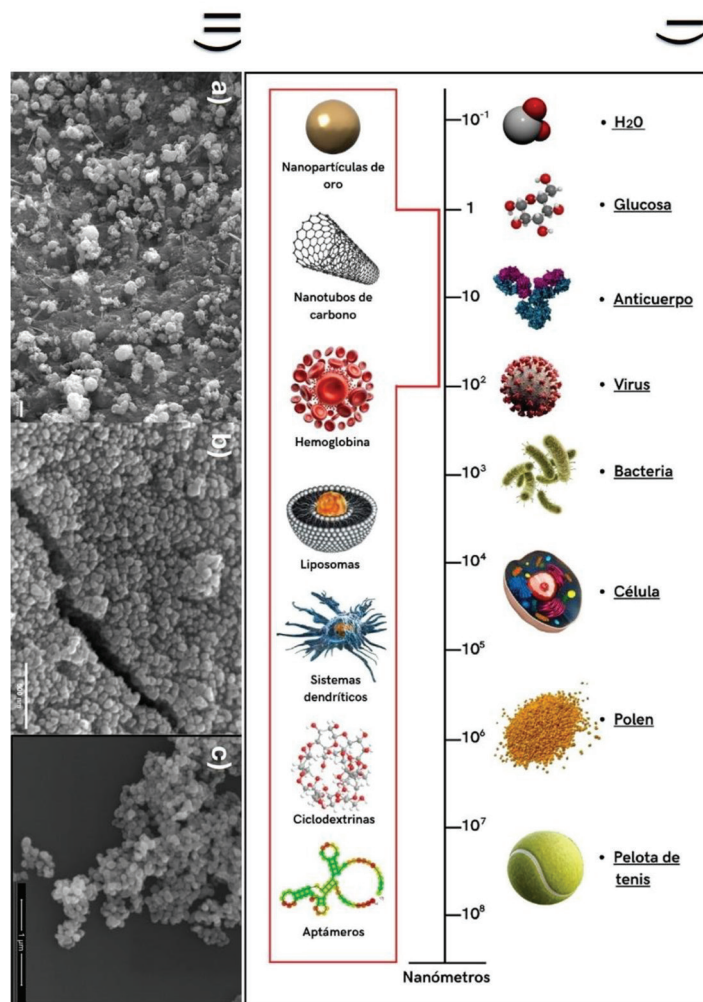


Figura 1. (I) Comparación de tamaños de distintas entidades biológicas (agua, glucosa, anticuerpos, virus, bacterias, células, etc.) y nanomateriales (nanopartículas, nanotubos de carbono, liposomas, etc.) en la escala de nanómetros. (II) Micrografías electrónicas de barrido (SEM) de nanopartículas metálicas obtenidas por síntesis bioasistida, observadas a diferentes escalas de magnificación: (a) Nanopartícula de CuO , (b) Nanopartícula de $Ag/AgCl$, (c) Nanopartícula de ZnO (Adaptada de Ortiz, 2020).

persisten en comunidades actuales, sino que también inspiran a la investigación científica en áreas emergentes como la nanotecnología, donde la naturaleza se convierte en una aliada para diseñar nuevos productos contra bacterias resistentes.

NANOTECNOLOGÍA VERDE: CUANDO LA QUÍMICA SE INSPIRA EN LA NATURALEZA

¿Cómo es posible que una planta, por sí sola, contribuya a resolver problemas que desafían a la medicina moderna? La respuesta está en la llamada nanotecnología verde, un enfoque que emplea organismos como plantas para producir nanopartículas de manera limpia, segura y eficiente.

La clave son los metabolitos secundarios, compuestos orgánicos presentes en los extractos vegetales que actúan como agentes reductores y estabilizadores. Como se muestra en la Figura 2, para obtener estos extractos, se emplean hojas, flores, raíces o tallos que se trituran y se mezclan con agua u otros disolventes. Tras reposar o calentarse suavemente, los compuestos activos se liberan y quedan listos para participar en el proceso de síntesis.

El siguiente paso es la mezcla del extracto con sales metálicas, como nitrato de plata, cloruro de cobre o acetato de zinc. En esta reacción, los metabolitos –entre ellos polifenoles y flavonoides– donan electrones que transforman los iones metálicos en nanopartículas, controlando su forma y tamaño. Lo fascinante es que, modificando parámetros como el pH,

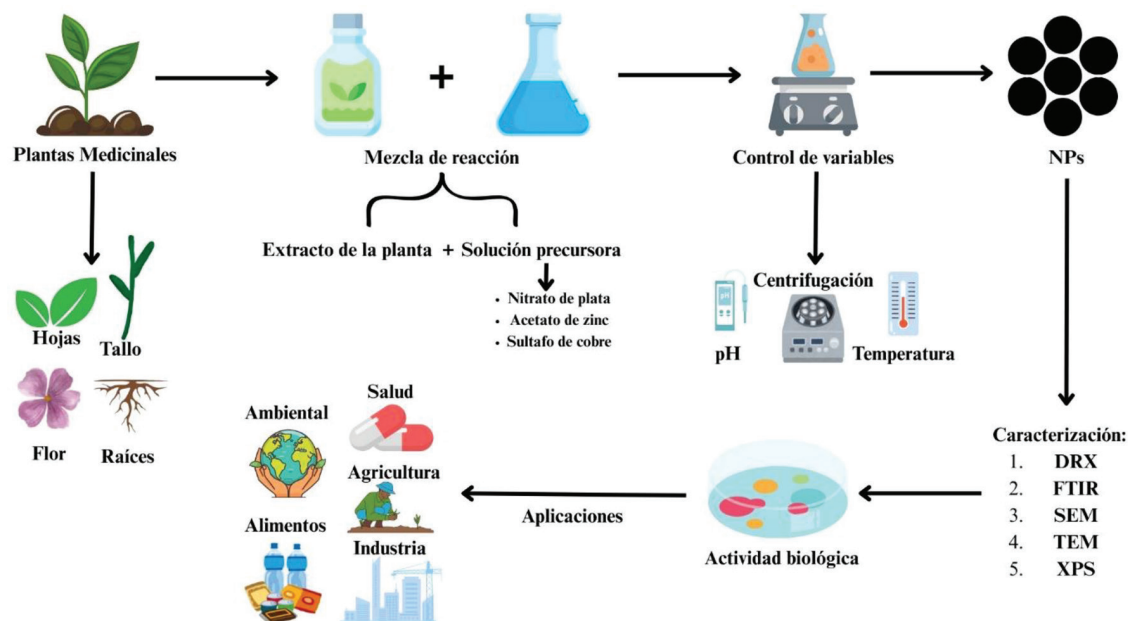


Figura 2. Esquema general de la síntesis verde de nanopartículas metálicas-óxido metálicas utilizando extractos de plantas medicinales. A partir de hojas, tallos, flores o raíces se obtiene un extracto que, al mezclarse con sales metálicas y controlar variables como pH y temperatura, da lugar a las nanopartículas. Luego se analizan en laboratorio y se prueban en diversas aplicaciones (Imagen propia).

la temperatura o la cantidad de extracto vegetal, es posible ajustar propiedades como la estabilidad o la actividad antimicrobiana. Todo esto sin recurrir a químicos agresivos ni a altos consumos de energía, lo que convierte a la nanotecnología verde en un método respetuoso con el ambiente y adaptable a múltiples aplicaciones.

De hecho, una revisión reciente documentó más de 40 plantas utilizadas en la síntesis de nanopartículas con usos que van desde la medicina hasta la agricultura o la remediación ambiental. Un ejemplo es el árbol de acacia (*Acacia nilotica*), usado en la medicina tradicional como antiséptico y para aliviar problemas respiratorios: a partir de sus extractos se han obtenido nanopartículas de plata con fuerte efecto contra bacterias como *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. El clavo de olor (*Syzygium aromaticum*), una especie bien conocida en la cocina y en la herbolaria por sus propiedades digestivas y analgésicas, contiene eugenol, un compuesto antimicrobiano que facilita la síntesis de nanopartículas de óxido de zinc capaces de inhibir a *E. coli* y *Bacillus cereus* en bajas concentraciones. El té verde (*Camellia sinensis*), famoso por sus antioxidantes y la corteza del cerezo africano (*Prunus africana*), empleada en la medicina popular para tratar afecciones urinarias, también han mostrado potencial al generar nanopartículas de óxido de cobre con capacidad de eliminar bacterias resistentes a varios antibióticos. Estos hallazgos confirman que las plantas no solo curan por sí mismas, como lo han hecho por siglos, sino que también pueden colaborar con la ciencia moderna para la producción de nuevos materiales capaces de combatir bacterias peligrosas como *S. aureus* resistente a la meti-

cilina (MRSA), la cual puede causar infecciones peligrosas que, en casos como la sepsis, son dos veces más propensas a ser mortales en comparación con otras bacterias. También podemos mencionar la *Klebsiella pneumoniae* responsable de causar infecciones graves y a menudo letales, como infecciones del torrente sanguíneo y neumonías.

Aunque muchas plantas medicinales pueden usarse para producir nanopartículas, los resultados no siempre son iguales. La forma, el tamaño o la potencia antibacteriana de estas diminutas partículas dependen mucho de los compuestos presentes en cada extracto. Lo interesante es que varias de estas plantas ya tenían un lugar en la herbolaria tradicional. Por ejemplo, *Solanum trilobatum*, usada en la medicina india para aliviar problemas respiratorios, permitió obtener nanopartículas muy pequeñas y esféricas, que resultaron más efectivas contra bacterias como *E. coli* y *S. aureus*. En contraste, *Syzygium cumini*, empleada en la medicina popular para tratar la diabetes y afecciones digestivas, produjo partículas más grandes e irregulares, con distinta eficacia. Algo parecido ocurrió cuando se evaluaron cinco especies medicinales comunes: cada extracto generó nanopartículas de formas y tamaños variados. Entre ellas, *Tridax procumbens*, conocida en la medicina tradicional como cicatrizante y para detener hemorragias, y *Ocimum tenuiflorum* o albahaca sagrada, muy apreciada como tónico inmunológico y protector natural, dieron origen a las partículas con mayor potencia antibacteriana. Estos ejemplos muestran uno de los grandes retos de esta tecnología: hay tantas variables en juego que es difícil obtener siempre partículas con las mismas características. Aun así, la conclusión es clara: cuando la na-

turalidad y la ciencia se encuentran, los resultados pueden ser sorprendentes.

¿CÓMO ELIMINAN LAS NANOPARTÍCULAS A LAS BACTERIAS?

¿Te has preguntado cómo algo tan diminuto puede llegar a ser tan eficiente contra las bacterias patógenas? Aunque no las veamos, las nanopartículas tienen la capacidad de atacar a las bacterias por varios frentes al mismo tiempo, lo que resulta particularmente eficaz incluso contra cepas resistentes.

Uno de sus mecanismos principales consiste en interactuar con la membrana que recubre a la bacteria y dañarla, como se ilustra en la Figura 3. Al debilitar esa barrera, la célula se vuelve más frágil y puede romperse o permi-

tir la entrada de sustancias que terminen por destruirla. Otro mecanismo es la generación de radicales libres, también conocidos como especies reactivas de oxígeno (ROS), moléculas altamente reactivas que alteran proteínas y ADN, dejando a la bacteria sin posibilidad de reparar su maquinaria interna. Además, ciertas nanopartículas liberan gradualmente iones metálicos, como los de plata y cobre, que bloquean procesos cruciales como la respiración o la producción de energía, e incluso interfieren con la fabricación de nuevas proteínas.

Un aspecto clave es que algunos compuestos metabólicos de las plantas permanecen adheridos a la superficie de las nanopartículas, reforzando su estabilidad y aportando propiedades adicionales. Estos metabolitos, principalmente los de plantas medicinales, pueden potenciar la acción antibacteriana al interferir

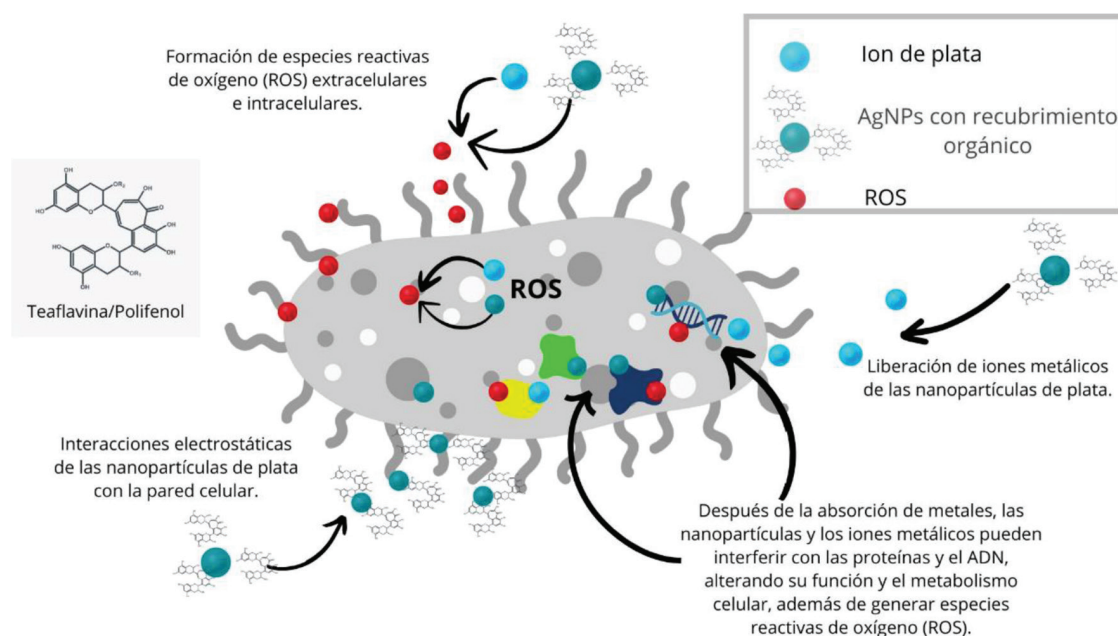


Figura 3. Mecanismos de acción antibacteriana de las nanopartículas de plata: Estas partículas y los iones metálicos que liberan pueden interactuar con la pared celular, generar especies reactivas de oxígeno, e interferir con proteínas y ADN bacteriano, afectando el metabolismo y provocando la muerte celular. Modificada de Torres-López *et al.*, 2025.

en varios procesos celulares, lo que amplía la eficacia y diversidad de los mecanismos de ataque. Como resultado de estas acciones combinadas, las bacterias van perdiendo su capacidad de producir energía y de multiplicarse, hasta que finalmente mueren. En conjunto, tales acciones convierten a las nanopartículas en un aliado muy potente frente a las infecciones: atacan de manera simultánea y por distintos caminos, dificultando que las bacterias encuentren mecanismos de defensa.

RETOS Y PERSPECTIVAS

Las nanopartículas elaboradas con extractos de plantas medicinales son muy prometedoras, pero llevarlas del laboratorio a la vida real no es tan sencillo. Uno de los grandes desafíos es lograr un control de calidad: no siempre se obtienen partículas del mismo tamaño, forma o efectividad antimicrobiana. Esto ocurre porque las plantas son seres vivos, y sus compuestos metabólicos cambian según el clima, el suelo o la época del año.

Otro reto importante es la producción a gran escala. Lo que funciona en un tubo de ensayo no siempre es fácilmente reproducible en cantidades mayores. Para industrializar el proceso es necesario fijar parámetros como la temperatura, el pH o la proporción de extracto a sal metálica. Conseguirlo sin perder calidad es una de las claves para que esta tecnología llegue al mercado.

También está el tema de la seguridad. Aunque muchos estudios indican que las nanopartículas obtenidas por extractos de planta son menos tóxicas que las sintéticas o químicas, aún se requieren pruebas más amplias para confirmar que son seguras en productos mé-

dicos, cosméticos o alimenticios. Además, deberán cumplir con regulaciones de salud en distintos países antes de ser aprobadas.

A pesar de estos desafíos, el panorama es muy esperanzador. Ya se exploran aplicaciones como recubrimientos hospitalarios que reducen transmisión de infecciones, empaques inteligentes que prolongan la vida útil de los alimentos o cremas que aceleran la cicatrización de heridas. Incluso en la industria de la construcción, se emplean en pinturas y selladores que combaten el *síndrome del edificio enfermo*, causado por la acumulación de microorganismos en espacios cerrados. En ambientes marinos, las nanopartículas se prueban como recubrimientos en embarcaciones y estructuras sumergidas para prevenir la formación de biopelículas (biofilm), una capa viscosa de bacterias que acelera la corrosión y eleva los costos de mantenimiento. Estas aplicaciones son solo el comienzo. Con el avance de la investigación, podríamos estar ante una nueva generación de materiales inteligentes, capaces de proteger la salud, conservar el ambiente y transformar industrias enteras de forma más segura y sostenible.

CONCLUSIÓN

Unir el conocimiento ancestral sobre plantas medicinales con los avances de la nanotecnología está abriendo nuevas oportunidades para enfrentar a las bacterias que ya no responden a los antibióticos convencionales. Los estudios en laboratorio muestran que es posible eliminar microbios resistentes con concentraciones muy bajas de nanopartículas obtenidas de extractos vegetales. Sin embargo, esta tecnología aún se encuentra en fase de desarro-

llo: es necesario producir partículas de forma constante, garantizar su seguridad en distintos escenarios y establecer normas claras para su aplicación en medicina, alimentos, higiene, el ambiente, entre otros.

A pesar de estos retos, el panorama es alentador. La naturaleza aporta los compuestos, la ciencia las herramientas, y juntas pueden ofrecer soluciones más seguras, sostenibles y efectivas. Así, podríamos contar con una nueva generación de aliados contra uno de los desafíos más urgentes del siglo XXI: la resistencia antimicrobiana.

LITERATURA RELEVANTE

- Alduraihem, N. S., Bhat, R. S., Al-Zahrani, S. A., Elnagar, D. M., Alobaid, H. M., y Dagestani, M. H. (2023). Anticancer and antimicrobial activity of silver nanoparticles synthesized from pods of *Acacia nilotica*. *Processes*, 11(2), 301.
- Godoy-Gallardo, M., Eckhard, U., Delgado, L. M., de Roo Puente, Y. J., Hoyos-Nogués, M., Gil, F. J., y Perez, R. A. (2021). Antibacterial approaches in tissue engineering using metal ions and nanoparticles: From mechanisms to applications. *Bioactive materials*, 6(12), 4470-4490.
- Hussien, N. A., Khalil, M. A. E. F., Schagerl, M., y Ali, S. S. (2025). Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles as a Promising Nanomedicine Approach for Anticancer, Antibacterial, and Anti-Inflammatory Therapies. *International Journal of Nanomedicine*, 4299-4317.
- Marslin, G., Siram, K., Maqbool, Q., Selvakesavan, R. K., Kruszka, D., Kachlicki, P., y Franklin, G. (2018). Secondary metabolites in the green synthesis of metallic nanoparticles. *Materials*, 11(6), 940.
- Ortiz, Á. M.-S. (2020). Nanotecnología para evitar que las infecciones se conviertan en pandemia. *The Conversation*. Consultado el 15 de agosto de 2025. <https://theconversation.com/nanotecnologia-para-evitar-que-las-infecciones-se-conviertan-en-pandemia-133850>
- Ssekatawa, K., Byarugaba, D. K., Angwe, M. K., Wampande, E. M., Ejobi, F., Nxumalo, E., y Kirabira, J. B. (2022). Phyto-mediated copper oxide nanoparticles for antibacterial, antioxidant and photocatalytic performances. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 10, 820218.
- Torres-López, J. L., Lázaro-Mass, S., De la Rosa-García, S., Alvarez-Lemus, M. A., Gómez-Rivera, A., López-González, R., y Gómez-Cornelio, S. (2025). Medicinal plants extract for the bio-assisted synthesis of Ag/AgCl nanoparticles with antibacterial activity. *Journal of Cluster Science*, 36(1), 20.

