



CIENCIAUANL

Revista de divulgación científica y tecnológica
de la Universidad Autónoma de Nuevo León

NOVIEMBRE - DICIEMBRE 2025



¿Es recomendable beber el agua de lluvia?

Bagazo y cáscara de naranja,
modelo de economía circular

Microbios superhéroes

Lodo residual, combustible
renovable para aviación



Año 28,
Número 134
noviembre - diciembre 2025

AÑO 28, NÚMERO 134



Una publicación bimestral de la Universidad Autónoma de Nuevo León

Dr. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Mario Alberto Garza Castillo
Secretario general

Mtro. Mario Emilio Gutiérrez Caballero
Abogado general

Dr. José Ignacio González Rojas
Secretario de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico

Dr. Guillermo Elizondo Riojas
Director CienciaUANL

Melissa del Carmen Martínez Torres
Editora

Consejo Editorial

Dr. Sergio Estrada Parra (Instituto Politécnico Nacional, México) /
Dr. Miguel José Yacamán (Universidad de Texas, EUA) / Dr. Juan Manuel Alcocer González (Universidad Autónoma de Nuevo León, México)/
Dr. Bruno A. Escalante Acosta (Instituto Politécnico Nacional, México)

Redes y publicidad: Jessica Martínez Flores
Diseño: Orlando Javier Izaguirre González
Corrector de inglés: Alejandro César Argueta Paz
Servicio social: Aleydis Anahí Franco de Anda
Olga Margarita González Nieves

Auxiliar administrativo: Samantha Jaqueline Zavala Salas
Corrección: Luis Enrique Gómez Vanegas
Portada: Francisco Barragán Codina
Webmaster: Mayra Silva Almanza

CienciaUANL, Año 28, N° 134, noviembre-diciembre de 2025. Es una publicación bimestral, editada y distribuida por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Dirección de Investigación. Domicilio de la publicación: Av. Manuel L. Barragán 4904, Campus Ciudad Universitaria, Monterrey, N.L., México, C.P. 64290. Teléfono: + 52 81 83294236, <https://cienciauanl.uanl.mx>, revista.ciencia@uanl.mx. Editora responsable: Melissa del Carmen Martínez Torres. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2021-060322550000-102, ISSN impreso: 3061-8401, Licitud de Título y Contenido: 14914, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor; ISSN-E: 3061-841X. Registro de marca ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial: 1437043. Responsable de la última actualización de este número: Melissa del Carmen Martínez Torres. Impresa por: Serna Impresos, S.A. de C.V., Vallarta 345 sur, Centro, C.P. 64000, Monterrey, Nuevo León, México. Fecha de terminación de impresión: 03 de noviembre de 2025, tiraje: 1,400 ejemplares. Fecha de última modificación: 03 de noviembre de 2025.

Esta publicación, en su integridad, y los derechos contenidos en ella, están protegidos por la Ley Federal de Derecho de Autor y la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial, por lo que no podrá ser reproducida con fines comerciales sin autorización del editor. Asimismo, queda prohibido cualquier uso sobre esta publicación, sea total o parcial, con fines de entrenamiento de cualquier clase de inteligencia artificial, minería de datos y textos, incluyendo, pero no limitado, la generación o publicación de obras derivadas o contenidos basados total o parcialmente en esta publicación y cualquiera de sus partes pertenecientes a la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Dirección de Investigación. Las violaciones a estas disposiciones constituyen una infracción en materia de comercio, derechos de autor y un delito. Publicación indexada a LATINDEX, CUIDEN, PERIÓDICA, Actualidad Iberoamericana, Biblat.

Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Impreso en México
Todos los derechos reservados
© Copyright 2025

CienciaUANL

COMITÉ ACADÉMICO

CIENCIAS DE LA SALUD
Dra. Lourdes Garza Ocañas
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS EXACTAS
Dra. Ma. Aracelia Alcorta García
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS AGROPECUARIAS
Dra. María Julia Verde Star
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS NATURALES
Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS SOCIALES
Dra. Veronika Sieglin Suetterlin
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
Dra. María Idalia del Consuelo Gómez de la Fuente
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS DE LA TIERRA
Dr. Carlos Gilberto Aguilar Madera
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

COMITÉ DE DIVULGACIÓN

CIENCIAS DE LA SALUD
Dra. Gloria María González González
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS EXACTAS
Dra. Nora Elizondo Villarreal
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS AGROPECUARIAS
Dr. Hugo Bernal Barragán
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS NATURALES
Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS SOCIALES
Dra. Blanca Mirthala Taméz Valdés
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
Dra. Yolanda Peña Méndez
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS DE LA TIERRA
Dr. Héctor de León Gómez
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

ÍNDICE

6 EDITORIAL



8 CIENCIA Y SOCIEDAD

De la nube al vaso: ¿es recomendable beber el agua de lluvia?

Jannette Bahena-Ramírez, Giovanni Hernández-Flores,
Erik Yoel Carreto-Morales



20 OPINIÓN

Más allá del jugo: valorización del bagazo y cáscara de naranja hacia un modelo de economía circular

Carlos Escamilla-Alvarado, Brenda Nelly López-Hernández,
María Guadalupe Paredes-Figueroa



28 EJES

Economía circular en la acuicultura: una nueva visión hacia la sostenibilidad

Luis Alfredo Ortega-Clemente, Martha Patricia Hernández-Vergara,
Carlos Iván Pérez-Rostro

38 SECCIÓN ACADÉMICA

39

Producción de combustible renovable para aviación utilizando lodo residual como materia prima

Enrique Contreras-Vázquez, José J. Cano-Gómez, Gerardo A. Flores-Escamilla,
José de los S. López-Lázaro, Magín Lapuerta-Amigo

46

AL PIE DE LA LETRA



Pasteur, la ciencia como una forma de vida

Zeferino Simón Galarza-Brito

52

CURIOSIDADES



Los microbios superhéroos: cómo los hongos y bacterias salvan el suelo

Perla Xóchitl Sotelo-Navarro

60

CIENCIA DE FRONTERA



Un lienzo para potencializar el trabajo de los microorganismos: la carrera académica de Karla Muñoz

María Josefa Santos-Corral

68

SUSTENTABILIDAD



Evaluación de impacto ambiental: clave para la sustentabilidad

Pedro César Cantú-Martínez

80

COLABORADORES

El ambiente y la bioenergía como ejes del desarrollo en México

Carlos Escamilla-Alvarado*

ORCID: 0000-0003-2152-7912

* Universidad Autónoma de Nuevo León,
San Nicolás de los Garza, México.

Contacto: carlos.escamillalv@uanl.edu.mx

México posee cerca del 70% de la diversidad de animales y plantas del mundo, siendo el quinto país con mayor biodiversidad (Gobierno de México). Sin embargo, de acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, es también uno de los que están en riesgo elevado frente al cambio climático, ese peligro inminente que un sector de la población todavía no comprende. La ciencia derivada del método científico ha demostrado su valor en rescatarnos del oscurantismo de las épocas en que vivieron Giordano Bruno y Galileo Galilei y llevarnos hasta un progreso tecnológico sin precedentes. Sin embargo, el capitalismo salvaje y el consumismo desenfrenado que conllevan la sobreexplotación de los recursos, aunado a las enfermedades reemergentes –ocasionadas, entre otros, por factores ambientales–, nos han acercado a lo que muchos científicos consideran el borde de la extinción. Si queremos, como especie, sobrevivir y seguir nuestro desarrollo, necesitamos cuidar el planeta; el único que tenemos.

Para lograr esto, debemos hacer valer la ciencia con sentido más humano y social, pero la comunidad también tiene que acercarse a ella. Aplicada al medio ambiente, es preciso despojar los términos como sostenibilidad y circularidad de la letra muerta y palabra de moda en que muchos las han convertido, y regresarlas a su esencia original: “buscar el desarrollo de las generaciones presentes sin comprometer el de las futuras, manteniendo el mejor beneficio ambiental, social y económico” –en ese orden–, y “aprovechar nuestros recursos de la manera más eficiente, exhaustiva y ecológicamente posible”. Estos y otros conceptos, debemos ponerlos en contacto con toda la sociedad, desde amas de casa, personas cuidadoras, niños y jóvenes de curiosidad infinita, abuelos llenos de enseñanzas y sabiduría; hasta políticos y empresarios, en quienes recae una gran parte de la responsabilidad del modo en que marcha la colectividad.

En esta búsqueda por la subsistencia humana, la energía y sus formas de obtención representan un pilar fundamental. Sin ella, el funcionamiento de la sociedad contemporánea y las actividades cotidianas –por ejemplo la alimentación o la comunicación– no serían posibles. La ciencia habitualmente aborda su generación y transformación, pero debe insistir en el ahorro y la eficiencia energética, ya que la mejor forma de cuidar nuestro planeta es aprovechando inteligentemente los recursos naturales. En el mismo sentido, el desarrollo de las bioenergías tiene que ser visto en México como una herramienta más que ayu-

de a reducir importaciones y a lograr la soberanía energética que la geopolítica actual demanda.

Para comprender cómo el cuidado del medio ambiente y el desarrollo de las bioenergías contribuyen al bienestar y progreso del país, es necesario ahondar en los quehaceres de la ciencia. Desde la Asociación de Biotecnología Ambiental y Energías Renovables, Asociación Civil (Abiaer, A.C.) buscamos acercar a los investigadores, profesionistas, estudiantes y audiencias no especializadas, para dialogar sobre los distintos campos del quehacer científico, siempre bajo el enfoque del cuidado al entorno y la sostenibilidad. De nuestra reunión del año pasado, el Simposio Ambiente y Bioenergía 2024, te compartimos, en este número que tienes en las manos, trabajos que conectan la labor científica que llevamos a cabo con la sociedad.

En ese esfuerzo, los presentes artículos muestran a la comunidad universitaria temáticas diversas, relacionadas con la biorremediación, los residuos sólidos urbanos, el agua de lluvia, los recursos acuícolas, los bioenergéticos y los bioproductos obtenidos bajo principios de economía circular, así como la vinculación entre la evaluación de impacto ambiental y la sostenibilidad. Finalmente, pero con igual relevancia, reseñamos el libro *Pasteur. Vida y obra*, para descubrir por qué su ejemplo ha inspirado a generaciones de científicos sobre lo que una persona puede aportar a su país y a la humanidad. Esperamos así, con tales contribuciones, seguir vinculando ciencia y ambiente con la sociedad, esta última... la razón de todo.

Descarga aquí nuestra versión digital.





Ilustración: Edgar Moreno.

De la nube al vaso: ¿es recomendable beber el agua de lluvia?

Jannette Bahena-Ramírez*
ORCID: 0009-0004-3416-8386

Giovanni Hernández-Flores**
ORCID: 0000-0001-8464-832X

Erik Yoel Carreto-Morales*
ORCID: 0009-0003-7226-2800

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.134-1>

* Universidad Autónoma de Guerrero, Acapulco de Juárez, México.
Contacto: br.jannette@gmail.com, erikyoelcarretomorales@gmail.com

** SECIHTI-Universidad Autónoma de Guerrero, Taxco de Alarcón, México.
Contacto: ghernandez@secihtl.mx, ghernandez@uagro.mx

En el instante en que el agua de lluvia se forma en la nube, es tan limpia que no debería contener partículas disueltas ni otras impurezas. Esto significa que en su forma más pura –antes de entrar en contacto con el aire o cualquier superficie–, ni siquiera contiene los minerales necesarios para hidratar nuestro cuerpo y ayudar al correcto funcionamiento de los órganos (Mora-Barrantes *et al.*, 2021). En contraste, estos minerales sí están presentes en ríos, lagos, pozos y acuíferos a consecuencia de la interacción natural que se da entre el agua, el suelo y las rocas por donde escurre. Es decir, cuando entra en contacto con los minerales que forman las rocas, logra desprender o deslavar de ellas pequeñas cantidades de calcio, magnesio, sodio, potasio, etcétera, elementos indispensables en el correcto funcionamiento del cuerpo (Villalba *et al.*, 2024).

En concreto, las nubes únicamente precipitan agua libre de los elementos mencionados –que bien podría quitarnos la sed al instante, pero con nulos beneficios a la salud–. Por otro lado, un aspecto que se debe considerar es su peligrosa capacidad de arrastrar microorganismos que puede encontrar a lo largo de su viaje y que podrían causar infecciones gastrointestinales si se ingieren (Sánchez *et al.*, 2015). Por esta razón, es necesario por lo menos desinfectarla con métodos sencillos al alcance en el hogar si no se tiene otra opción para beber.

EL AGUA COMO LA MOLÉCULA MÁS SOCIABLE: UNA VIRTUD PELIGROSA

¿Alguna vez te has topado con ese amigo(a) al que todo el mundo acepta, ese que a donde lo invites siempre va y es muy llevadero con todos a su alrededor? En el mundo de la química, el agua (H₂O) es ese amigo. Tiene la capacidad de disolver y arrastrar una gran variedad de compuestos presentes en distintas fases (sólidos, líquidos, gases) y microorganismos patógenos. Esta característica le otorga el título o propiedad química conocida como “el solvente universal”. Es decir, es el medio ideal para que las reacciones químicas y biológicas se lleven a cabo en la naturaleza (Reichardt, 2003). Sin embargo, tiene un defecto –o virtud–: no distingue buenas o malas amistades, o cuáles sustancias con las que se mezcla benefician nuestra salud o bien son altamente tóxicas cuando la bebemos.

Ahora que sabemos que el agua de lluvia es ese amigo que se junta con la mayoría de los niños en el parque... es importante considerar que, por sí sola, aunque no tiene contaminantes, es ligeramente ácida. Entonces, ¿es malo tomarla porque es ácida? Calma... estamos hablando de agua ácida inofensiva que no causa efectos negativos a nuestro cuerpo. Incluso... ¿sabías que el consumo cotidiano de sustancias ácidas es más común de lo que imaginas? Las ingerimos al tomar una aspirina porque contiene ácido acetilsalicílico o al beber un vaso de agua de limón, naranja o piña (frutas que contienen ácido cítrico).

A lo que queremos llegar es que, al igual que estas sustancias, el agua de lluvia también posee u obtiene una acidez natural debido a su interacción y disolución de un gas –que no podemos ver ni oler, pero que siempre se encuentra en el aire–: el dióxido de carbono (CO_2). Reflexionemos un poco... por encima de nuestras cabezas en la atmósfera o “al aire libre”, como comúnmente nos referimos, están ocurriendo un sinnúmero de procesos que no logramos percibir; uno de éstos, de los más comunes y que suceden diariamente, es la mezcla del CO_2 con el agua, juntos forman el ácido carbónico (H_2CO_3), pero tranquilos, porque este proceso es natural y no implica ningún riesgo. Sin embargo, no todo es miel sobre hojuelas –o lluvia sobre aire limpio–.

Existen ciertas regiones en donde el oxígeno que respiramos se encuentra mezclado con otras partículas, gases o microorganismos –que también pueden formar parte de su composición– que son “dañinos para la salud” si se mezclan con la lluvia y esta se ingiere. Nos referimos a partículas de polvo, aerosoles, gases contaminantes (dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, amoníaco, etcétera), bacterias, hongos, parásitos y virus que tienen el poder de mezclarse con el agua mientras cae sobre la tierra. Por esta última razón, en zonas urbanas, industriales o con actividad volcánica, la lluvia ácida es más propensa a contener niveles de contaminación muy altos (García-Martínez *et al.*, 2020) y no se recomienda usarla –ni siquiera en la ducha– sin antes analizar su composición y así descartar cualquier riesgo.

ENTONCES... ¿EN DÓNDE ES MÁS SEGURO BEBER EL AGUA DE LLUVIA, EN ÁREAS RURALES O URBANAS?

El agua de lluvia es generada por uno de los procesos de purificación más eficientes que existen en nuestro planeta: el ciclo del agua. Es una fuente natural y limpia, pero su calidad varía significativamente dependiendo del entorno en el que se recolecte (las condiciones atmosféricas, actividades humanas y el contacto con mascotas o fauna silvestre). La diferencia más marcada se observa entre áreas urbanas y rurales, debido a varios factores que discutiremos a continuación.

Las zonas urbanas, con su alta concentración de edificios, vehículos, industrias y, en consecuencia, mala calidad del aire, presentan un mayor riesgo a que el agua de lluvia se mezcle con sustancias peligrosas en su trayecto desde la nube hasta antes de hacer contacto con alguna superficie (figura 1). Además, cuando la lluvia cae en zonas urbanas e interacciona con superficies como techos, azoteas o terrazas donde la gente comúnmente ubica a sus mascotas, arrastra partículas de polvo de diferente naturaleza, productos químicos que son generados diariamente y por supuesto heces de mascotas y fauna silvestre (aves, ratas, cucarachas e insectos) que aumenta el grado de contaminación (Sánchez *et al.*, 2015).

En algunos sitios incluso puede contener niveles peligrosos de metales pesados: plomo, mercurio, cadmio, hierro, zinc y cobre, que provienen de las estructuras metálicas de los edificios, pinturas, de la industria o de la combustión de vehículos automotores (Ali *et al.*, 2003). Estos factores contribuyen aún más con la acidez y la convierten en una fuente de riesgo potencial hacia nuestra salud. Entonces, si además de darle un uso doméstico al líquido recolectado en las grandes ciudades también quisiéramos hacerla apta para consumo, tendríamos que realizarle análisis fisicoquímicos y microbiológicos que consideren diversos parámetros: sólidos disueltos totales, pH, coliformes totales, coliformes fecales, presencia de nitratos, sulfatos y cloruros (Sánchez-Montoya *et al.*, 2019; SSA, 2021).

En el caso de que estas pruebas de calidad resultaran positivas, tendríamos que someterla a un tratamiento complejo con procesos específicos de filtrado de partículas dañinas, eliminación de bacterias y así hacerla segura para el consumo (García-Martínez, 2018). Por otro lado, en zonas rurales y periurbanas, generalmente el agua de lluvia tiende a ser más limpia. La razón: una menor cantidad de fuentes de contaminación en el aire y una mayor concentración de vegetación que contribuye con la fijación de carbono. Estas regiones suelen estar más libres de sustancias industriales y vehículos, reduciendo la posibilidad de que la lluvia arrastre sustancias nocivas. Es decir, si se presentara la necesidad de ingerirla... ¡claro que podríamos! Sin embargo, al igual que en las



Ilustración: Edgar Moreno.

urbanas, en zonas rurales también se recomienda analizar la calidad fisicoquímica y microbiológica de la lluvia porque, aunque en el campo sea menos propensa a contaminarse, esto no significa que esté exenta de riesgos.

Generalmente las áreas rurales se caracterizan por tener una predominancia de espacios abiertos y naturales (bosques, campos y praderas), sitios adecuados para la existencia de vida silvestre y animales domésticos que también pueden ensuciar el agua de lluvia con sus heces. Por esta última razón, independientemente de la zona –urbana o rural– donde se colecte, se recomienda realizar análisis microbiológicos con el objetivo de descartar la presencia de bacterias, parásitos o virus antes de ingerirla. Si los análisis microbiológicos no fueran posibles, la Secretaría de Salud (SSA, 2015) promueve un par de soluciones preventivas eficientes: 1) hervirla por al menos cinco minutos (contar el tiempo a partir del primer hervor) y mantenerla en un recipiente cerrado, o 2) agregar dos gotas de cloro de uso doméstico (hipoclorito de sodio 6%) o plata coloidal recomendada en la desinfección de verduras por cada litro.

Otra razón por la cual no se recomienda beber el agua de lluvia en zonas rurales, aunque sea más limpia, en comparación con la que cae sobre las ciudades, es porque carece de sales y minerales esenciales como el calcio, magnesio, sodio, potasio, entre otros elementos que deben estar en menor proporción (figura 1).

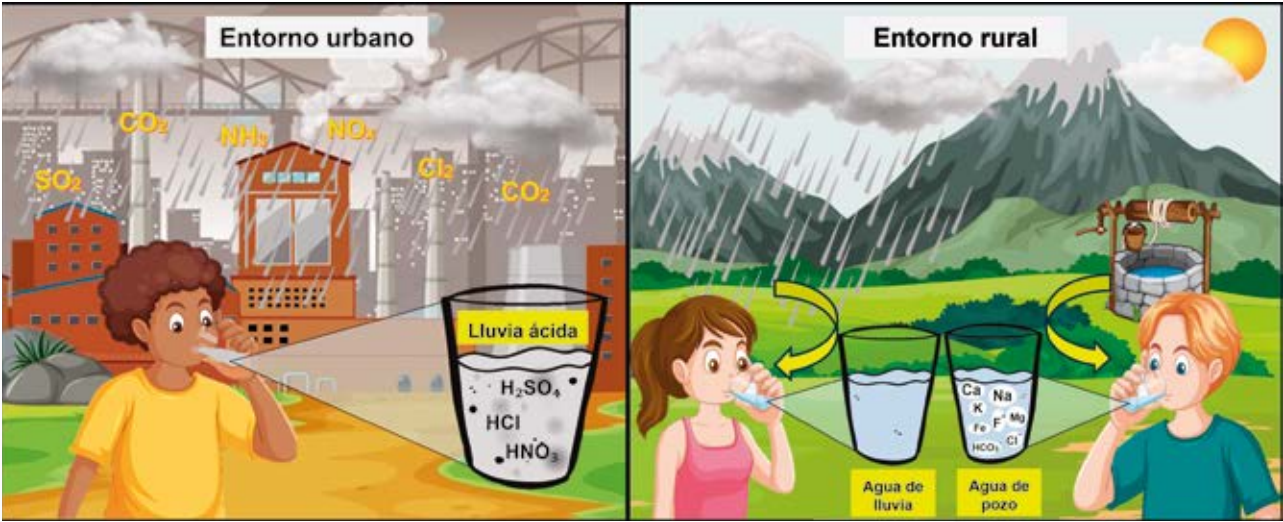


Figura 1. La composición y calidad del agua que ingerimos varía dependiendo del entorno en donde sea recolectada.

Esto significa que tomar agua de lluvia para saciar nuestra sed sería parecido a utilizar un salvavidas roto en una tormenta. Aunque su función sea “salvar vidas”, el hecho de que esté roto lo hace inútil e inservible. De forma similar, aunque la lluvia no deja de ser agua, cuando una persona la consume completamente desmineralizada por largos periodos, es muy probable que presente un desequilibrio mineral en su cuerpo. Por esta razón, no se recomienda beberla directamente. La consecuencia de tomarla –excesivamente– sería una alteración de funciones como el ritmo cardíaco y la presión arterial, incremento en las afecciones respiratorias (asma, bronquitis y síndrome de Krupp) y un aumento en los casos de cáncer (Garcés Giraldo y Hernández Ángel, 2004).

Aunque sí, quita la sed –por el hecho de ser agua–, la falta de los minerales que mencionamos anteriormente reduce la capacidad de nuestro cuerpo de absorber y retenerla eficientemente en el organismo. Si quisieras reemplazar la del garrafón con agua de lluvia, cometerías un grave error. Esto nos llevaría a un cuadro de deshidratación crónica si se consume en exceso.

PERSPECTIVAS

El agua de lluvia inevitablemente se mezcla con otros componentes presentes en el aire y lo que entra en contacto con ella al caer sobre la Tierra –porque es su naturaleza–. El agua no es selectiva y puede incorporar metales pesados y bacterias dañinas que se pueden encontrar en el aire y en las superficies de captación. Simplemente, cual esponja... absorbe todo a su paso. Entonces... ¿podemos beber agua de lluvia y no morir en el intento? Sí..., no..., depende.

En muchas ocasiones no hay otra fuente de abastecimiento más que la proporcionada por la lluvia e independientemente de su calidad, las circunstancias nos orillan a beberla sin importar las posibles consecuencias que pueda traer a la salud. La recomendación sobre ingerirla o no es un poco complicada. Antes de arriesgarnos a tomarla lo ideal sería por lo menos realizar análisis microbiológicos para descartar la presencia de microorganismos causantes de infecciones gastrointestinales, por ejemplo, *Escherichia coli*. Sin embargo, a pesar de que estos análisis son necesarios, son tardados e imprácticos en zonas urbanas y rurales.

En su lugar, se proponen algunas estrategias de tratamiento preventivas y altamente efectivas para eliminar microorganismos patógenos como la desinfección por ebullición o la cloración. Finalmente, aunque el agua de lluvia que cae en entornos rurales y urbanos puede ser una aliada o amenaza, está en nuestras manos el saber adaptarnos a lo que la naturaleza nos ofrece.

REFERENCIAS

Ali, K., Momin, G.A., Tiwari, S., *et al.* (2003). Fog and precipitation chemistry at Delhi, North India, *Atmospheric Environmental*, 38, 4215-4222, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.02.055>

Garcés-Giraldo, Luis F., Hernández-Ángel, Marta L. (2004). La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local, *Revista Lasallista de Investigación*, 1(2), <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69510211>

García-Martínez, Rocío, Carrillo-Chávez, Alejandro, Torres-Jardón, Ricardo, *et al.* (2020). Chemical composition of rainwater collected from 2006 to 2009 in Mexico City and at a rural site at Morelos State, south central Mexico, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 37(1), 1-8, <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2020.1.1101>

García-Martínez, Rocío. (2018). El agua de lluvia de la CDMX, no apta para consumo humano directo, *Boletín UNAM-DGCS-670 Ciudad Universitaria*, https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018_670.html#:~:text=El

Mora-Barrantes, José C., Sibaja-Brenes, José P., Borbón-Alpizar, Henry. (2021). Fuentes antropogénicas y naturales de contaminación atmosférica: estado del arte de su impacto en la calidad fisicoquímica del agua de lluvia y de niebla, *Tecnología en Marcha*, 34-1, 92-103, <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v34i1.4806>

Reichardt, Christian, Welton, Thomas. (2003). *Solvents and Solvent Effects in Organic Chemistry*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH.

Sánchez, A.S., Cohim, E. y Kalid, R.A. (2015). A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested rainwater in urban areas, *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 5, 1-19, <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2015.04.002>

Sánchez-Montoya, Guadalupe, Talavera-Mendoza, Oscar, Hernández-Flores, Giovanni, *et al.* (2019). Potentially toxic elements determination and chemical-microbiological analysis

of potable water in Taxco de Alarcón, Guerrero, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36(2), 147-158, <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2019.2.927>

Secretaría de Salud. (2021). *Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*, <https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5650705>

Secretaría de Salud. (2015). *Consumo de agua: desinfección para consumo*, <https://www.gob.mx/salud/documentos/consumo-de-agua-desinfeccion-para-consumo>

Villalba, Esteban, Carretero, Silvina, Tassi, Franco. (2024). Procesos hidrogeoquímicos asociados a la interacción agua-Roca en el valle Manchana Covunco, sistema hidrotermal Domuyo, Patagonia Argentina, en *Agua subterránea: retos para una gestión sostenible. Tomo II: Hidroquímica, calidad y contaminación*, 195- 201, <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/174956>

Recibido: 13/06/2025
Aceptado: 27/08/2025

Descarga aquí nuestra versión digital.



Más allá del jugo:

valorización del bagazo y cáscara de naranja hacia un modelo de economía circular

Carlos Escamilla-Alvarado*
ORCID: 0000-0003-2152-7912

Brenda Nelly López-Hernández*
ORCID: 0000-0003-3400-0474

María Guadalupe Paredes-Figueroa**
ORCID: 0000-0002-6640-8581

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.134-2>



La naranja es el cítrico más consumido en el mundo, alcanza el 60% de la producción general de este tipo de fruto. México es su tercer mayor productor, Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí, Puebla y Nuevo León son las entidades líderes en su cosecha, comprendiendo entre ellos el 85% del total nacional (DGSIA, 2024).

Después de la extracción del jugo, aproximadamente entre 50 y 60% del peso de la fruta permanece en la cáscara y el bagazo. Las industrias productoras de néctar suelen aprovechar estos residuos para obtener aceites esenciales y pectina. Sin embargo, cuando el bagazo y la cáscara se generan a menor escala –en hogares o establecimientos pequeños–, comúnmente se llevan a sitios de disposición final donde se originan gases de efecto invernadero (particularmente metano, un gas con alto potencial de calentamiento glo-

* Universidad Autónoma de Nuevo León, Apodaca, México.

** Universidad de Monterrey, San Pedro Garza García, México.

Contacto: carlos.escamillalv@uanl.edu.mx, brenda.lopezhe@uanl.edu.mx, maria.paredesf@udem.edu

bal), contaminación del agua y del suelo (Albale-Ramírez *et al.*, 2024). Además, se pierde la oportunidad de convertirlos en biocompuestos y bioenergéticos de valor agregado (López-Hernández *et al.*, 2025).

Ante esta situación, las biorrefinerías se presentan como una estrategia adecuada en la valorización de residuos orgánicos. Se trata de complejos que permiten transformar la biomasa en múltiples productos de valor agregado –biocompuestos, bioenergía y abonos– en un esquema de aprovechamiento en cascada (Poggi-Varaldo *et al.*, 2014). Este concepto consiste en priorizar la obtención de los compuestos más valiosos y, posteriormente, destinar el residuo remanente a otras aplicaciones, por ejemplo, bioenergía o fertilizantes, maximizando así el rendimiento integral y reduciendo al mínimo la generación de desechos. De esta manera, la figura 1 muestra el aprovechamiento convencional de la naranja en la elaboración de jugo incorporado al concepto del modelo de biorrefinería, que incluye la valorización de su cáscara y bagazo para la extracción de aceites esenciales y pectina, junto con la producción de bioenergéticos y abonos (López-Hernández *et al.*, 2025).

El desarrollo de biorrefinerías para residuos cítricos responde a la necesidad de obtener bioenergéticos como el biometano, el bioetanol y el biohidrógeno, que representan alternativas renovables a los combustibles fósiles y contribuyen a la mitigación del cambio climático y al progreso de la economía circular.

BIOCOMPUESTOS VALIOSOS: MÁS QUE SÓLO JUGO

Desde hace décadas se aprovecha el bagazo y la cáscara de naranja para la obtención de aceites esenciales y pectina, dos biocompuestos con una variedad de aplicaciones industriales.

Los aceites esenciales conforman aproximadamente 1.5% del peso del bagazo y la cáscara (Calabrò *et al.*, 2015). El d-limoneno es una molécula terpenoide que constituye alrededor del 90% de los aceites esenciales presentes en la cáscara, concentrándose en la capa externa llamada flavedo. Gracias a su aroma característico son muy demandados en la industria alimentaria (saborizante), en la cosmética, perfumería y en la farmacéutica (Arango-Manrique *et al.*, 2024).

El prensado en frío es la técnica preferida para extraer los aceites esenciales de la cáscara de naranja. Es un método mecánico que no requiere calor ni solventes químicos, lo que ayuda a mantener mejor los compuestos aromáticos, la calidad sensorial del producto y la economía del proceso. Consiste en someterla a presión suficiente para liberar el aceite contenido en las glándulas del flavedo, que luego se separa mediante centrifugación o decantación.

En cuanto a la pectina, es un polisacárido complejo presente en la pared de las células vegetales de frutas y verduras. En los cítricos se en-



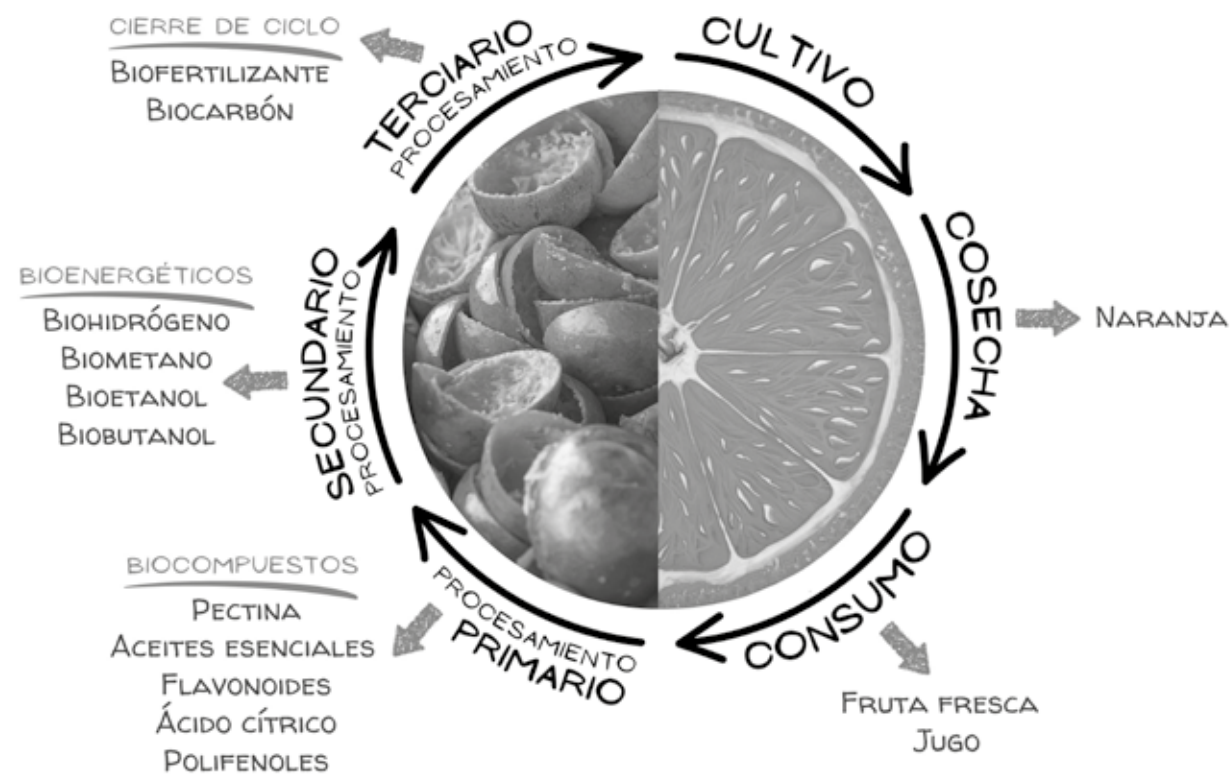


Figura 1. Esquema del aprovechamiento convencional de la naranja, de su bagazo y cáscara, incorporado al concepto del modelo de biorrefinería.

cuentra principalmente en la parte blanca y esponjosa de sus cáscaras, llegando a representar entre 15 y 40% del peso de una naranja seca. Se utiliza sobre todo como agente gelificante y espesante en alimentos del tipo mermeladas y jugos, y es un estabilizador de textura en diversas formulaciones. Además, tiene aplicaciones en la industria farmacéutica –encapsulación y liberación controlada de fármacos– y cosmética –estabilizador y espesante en cremas y lociones–.

El método habitual de extraer pectina es la hidrólisis con ácidos inorgánicos diluidos: clorhídrico, nítrico o sulfúrico. Luego se clarifica, se precipita con alcohol y se somete a centrifugación o filtración para recuperarla, finalmente se seca y pulveriza (Zegada Franco, 2015). La fibra insoluble –celulosa y lignina– permanece en el residuo y puede ser

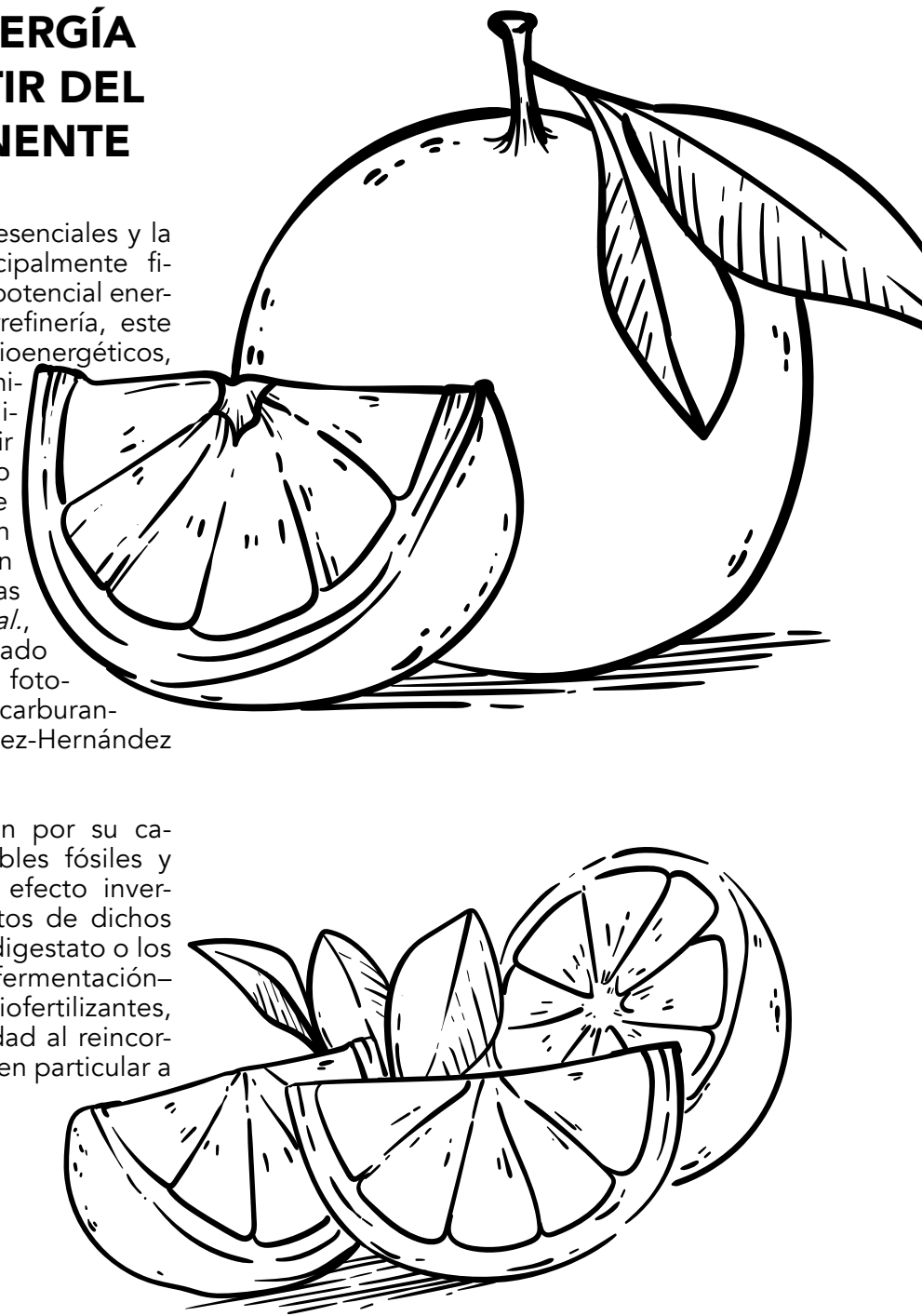
aprovechada en etapas posteriores del proceso de biorrefinería.

En México, los procedimientos de obtención de pectina y aceites esenciales se aplican comúnmente en la industria del jugo de naranja, aunque todavía no se realiza su integración bajo el marco formal de las biorrefinerías con producción de biocombustibles. Hacerlo permitiría no sólo continuar con la extracción de aceites esenciales y pectina, sino también dar un paso más hacia la economía circular en el cultivo de este fruto. Por ejemplo, a partir del trabajo de López-Hernández *et al.* (2025), se demostraron esquemas de aprovechamiento de la cáscara y bagazo, en los cuales, tras la obtención de aceites esenciales y pectina por hidrodestilación, se conseguían rendimientos favorables de biohidrógeno por la ruta fermentación oscura-fotofermentación, y de metano por digestión anaerobia.

¿Y DESPUÉS? ENERGÍA Y ABONO A PARTIR DEL RESIDUO REMANENTE

Una vez recuperados los aceites esenciales y la pectina, el residuo restante –principalmente fibras insolubles– conserva un alto potencial energético. Bajo un modelo de biorrefinería, este material puede transformarse en bioenergéticos, por ejemplo el biometano –obtenido por digestión anaerobia–, utilizado como combustible al producir electricidad o calor (Poggi-Varaldo *et al.*, 2014), el bioetanol –que se crea a partir de la fermentación de azúcares e hidrolizados– es un buen biocombustible en mezclas con gasolina (Ríos Fránquez *et al.*, 2018), y el biohidrógeno –generado mediante fermentación oscura o fotofermentación–, que tiene uso de carburante vehicular o gas de síntesis (López-Hernández *et al.*, 2025).

Estos bioenergéticos destacan por su capacidad para sustituir combustibles fósiles y reducir emisiones de gases de efecto invernadero. Además, los subproductos de dichos procedimientos –por ejemplo el digestato o los residuos sólidos del proceso de fermentación– pueden aprovecharse como biofertilizantes, cerrando así el ciclo de circularidad al reincorporarse a la producción agrícola, en particular a los cultivos cítricos.



DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES DE SU USO EN BIORREFINERÍAS

La aplicación de modelos de biorrefinería para residuos cítricos tiene un gran potencial ambiental, económico y social. Sin embargo, su implementación enfrenta retos importantes: *i)* escasa participación ciudadana en la separación de los sobrantes en la fuente de generación (Piñar *et al.*, 2024), *ii)* falta de infraestructura en el procesamiento de los desechos orgánicos (Tsydenova *et al.*, 2018), y *iii)* ausencia de políticas públicas e incentivos que promuevan las prácticas de circularidad (Albalate-Ramírez *et al.*, 2024).

Estudios previos han señalado que estas limitaciones representan barreras significativas en la adopción de estrategias de economía circular en países como México. Superarlas requerirá inversión en infraestructura, programas de educación ambiental y marcos normativos que impulsen la innovación tecnológica y la creación de mercados verdes.

Sin embargo, otro aspecto positivo del desarrollo de los biocombustibles en el contexto de las biorrefinerías es que su producción industrializada aportaría a la matriz energética del país para lograr la autosuficiencia o independencia, que en el escenario geopolítico actual es buscada por muchos gobiernos (Secretaría de Energía, 2025).

Por lo tanto, considerando la importancia de la naranja en México y en el mundo, la transformación de esta industria hacia un modelo de biorrefinería que aproveche sus residuos, priorizando la obtención de biocompuestos de alto valor –por ejemplo, aceites esenciales y pectina–, y posteriormente en bioenergéticos que coadyuven en la transición y autosuficiencia energética, de esta manera finalmente generar fertilizantes que regresen al campo, se visualiza con un elevado potencial para enarbolar el enfoque de circularidad que favorezca al mismo tiempo la protección del medio ambiente y la creación de empleos ecológicos en sectores clave.

REFERENCIAS

Albalate-Ramírez, A., Rueda-Avellaneda, J. F., López-Hernández, B. N., *et al.* (2024). Geographic life cycle assessment of food loss and waste management in Mexico: The reality of distribution and retail centers, *Sustainable Production and Consumption*, 48, 289-300, <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.028>

Arango-Manrique, Sergio, Agudelo Patiño, Tatiana, Matallana Pérez, Luis G., *et al.* (2024). Conceptual design and economic optimization of different valorization routes for orange peel waste: The application of the biorefinery concept for an integral use of raw material, *Processes*, 12(10), 2298, <https://doi.org/10.3390/pr12102298>

Calabrò, P. S., Pontoni, L., Porqueddu, I., *et al.* (2015). Effect of the concentration of essential oil on orange peel waste biomethanization: Preliminary batch results, *Waste Management*, 48, 440-447, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.032>

Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (DGSIAP). (2024). Estadística de producción agrícola, *Gobierno de México*, <https://nube.agricultura.gob.mx/datosAbiertos/Agricola.php>

López-Hernández, Brenda N., Escamilla-Alvarado, Carlos, Albalate-Ramírez, Alonso, *et al.* (2025). Transforming orange peel waste into hydrogen: The effect of biocompound extraction and inoculum-to-substrate ratio on dark fermentation, *International Journal of Hydrogen Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.02.358>

Piñar, María de los A., Mondragon, Itzel L. (2024). Participación social y sensibilización ambiental para el manejo de residuos municipales en Banderilla, Veracruz, México, *Revista Electrónica en Educación y Pedagogía*, 8(14), 108-124. <https://doi.org/10.15658/rev.electron.educ.pedagog24.02081407>

Poggi-Varaldo, Héctor M., Muñoz-Paez, Karla M., Escamilla-Alvarado, Carlos, *et al.* (2014).

Biohydrogen, biomethane and bioelectricity as crucial components of biorefinery of organic wastes: A review, *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 32(5), 353-365, <https://doi.org/10.1177/0734242X14529178>

Ríos-Fránquez, Francisco J., Rojas-Rejón, Oscar, Escamilla-Alvarado, Carlos. (2018). Chapter 13. Microbial enzyme applications in bioethanol producing biorefineries: overview, in Ray, R. (Ed): *Bioethanol production from food crops*, 249-266, Academic Press, Netherlands, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813766-6.00013-8>

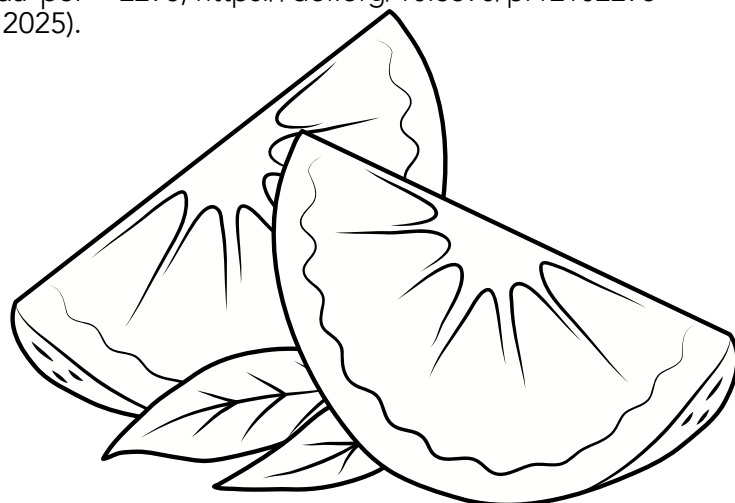
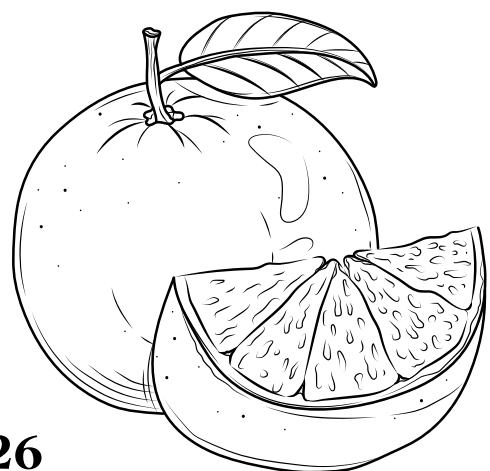
Secretaría de Energía. (2025). *Balance nacional de energía 2023*, Subsecretaría de Planeación y Transición Energética, Dirección General de Planeación e Información Energéticas, Gobierno de México.

Tsydenova, Nina, Vázquez Morillas, Alethia, Cruz Salas, Arely A. (2018). Sustainability assessment of waste management system for México City (México)-based on analytic hierarchy process, *Recycling*, 3(3), 45, <https://doi.org/10.3390/recycling3030045>

Zegada Franco, Vanesa Y. (2015). Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO), *Investigación & Desarrollo*, 1(15), 65-76.

Recibido: 16/06/2025
Aceptado: 27/08/2025

Descarga aquí nuestra versión digital.



Economía circular en la acuacultura: una nueva visión hacia la sostenibilidad

Luis Alfredo Ortega-Clemente*
ORCID: 0000-0002-1894-7425

Martha Patricia Hernández-Vergara*
ORCID: 0000-0002-1589-1913

Carlos Iván Pérez-Rostro*
ORCID: 0000-0002-8899-2002

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.134-3>

* Tecnológico Nacional de México/ITBOCA, Boca del Río, México.
Contacto: luisortega@bdelrio.tecnm.mx, marthahernandez@bdelrio.tecnm.mx, carlospez@bdelrio.tecnm.mx



La economía circular, a diferencia del modelo lineal de “tomar, hacer y desear”, busca maximizar el uso de recursos y promover su reutilización en manera continua. La granja integral china, ejemplo histórico de acuacultura integrada, combina especies acuáticas con otros sistemas productivos en un ciclo cerrado, donde los desperdicios se convierten en insumos, optimizando el uso de los suministros.

En acuacultura, esto implica diseñar modelos que reciclen nutrientes, agua y residuos, transformándolos en materiales útiles. Prácticas diversas, por ejemplo, recirculación de líquido, valorización de desechos como fertilizantes orgánicos y la incorporación de cultivos mediante acuaponía y sistema multitrófico integrado (IMTA) que reducen la basura, disminuyen la dependencia de insumos externos y mejoran la sostenibilidad ambiental y económica. Además, fortalecen la resiliencia de las operaciones acuícolas (figura 1), promoviendo prácticas más responsables y sustentables a largo plazo (Fraga-Corral *et al.*, 2022; Kardung *et al.*, 2021).

En la acuacultura, en México, se promueven procedimientos sostenibles como el reciclaje y la valorización de residuos orgánicos, además del uso eficiente del agua para alimentación animal o fertilizantes. Estas acciones ayudan a reducir el impacto ambiental, fortalecen las economías locales y fomentan la innovación en técnicas más responsables, contribuyendo a la conservación de los ecosistemas marinos.

RECICLAJE DE NUTRIENTES EN LA ACUACULTURA

En la acuicultura, el reciclaje de nutrientes es clave si se busca una producción más sustentable. Los desechos de peces (el alimento no consumido y los excrementos) se convierten en recursos útiles (figura 2a). Éstos pueden usarse como fertilizantes (nutrientes) naturales que se utilizan en cultivos terrestres, enriqueciendo el suelo y reduciendo la dependencia de químicos. Además, en sistemas integrados, estos compuestos sirven para alimentar otros organismos acuáticos: plantas o crustáceos capaces de absorber hasta el 48% del nitrógeno y el 42% del fósforo (Sri-uam *et al.*, 2016), creando un ciclo cerrado que optimiza recursos y minimiza residuos.

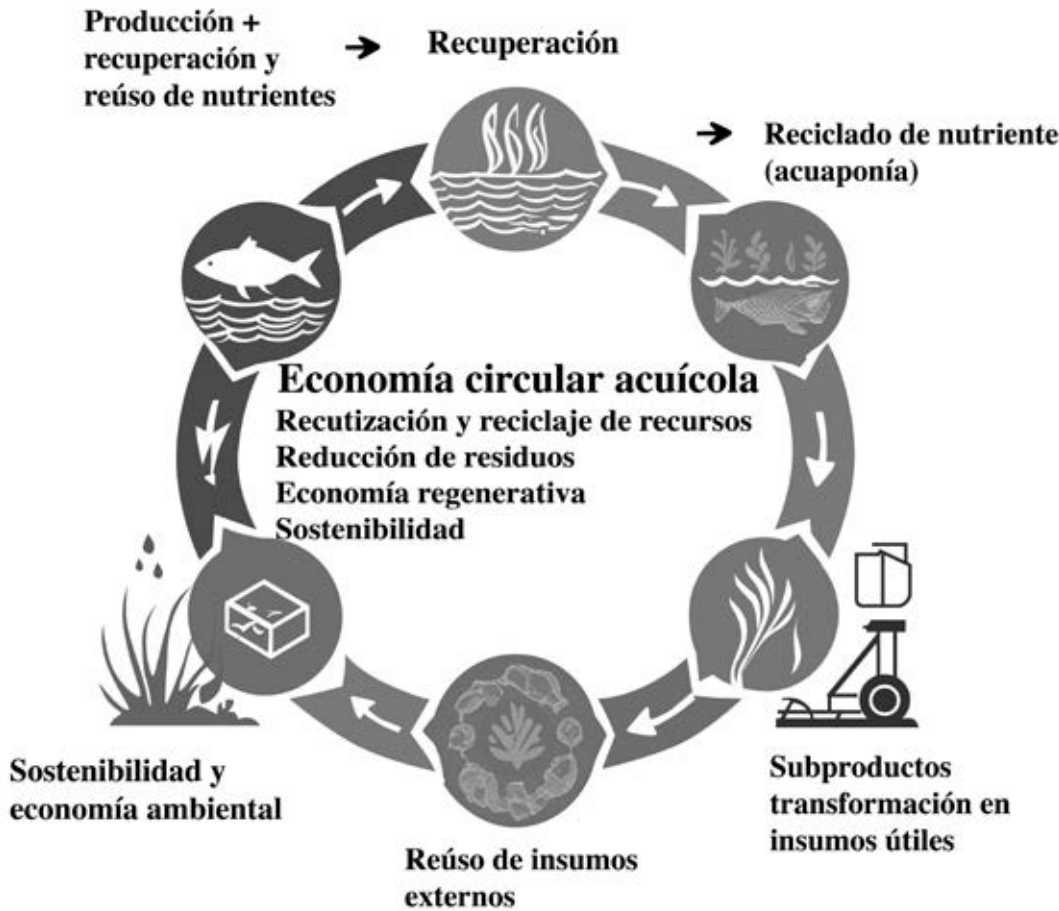


Figura 1. Esquema gráfico de los principios y procesos de la economía circular aplicados al sector de la acuicultura.



Figura 2. Uso de residuos, innovación tecnológica, reciclaje de nutrientes, beneficios ambientales, sistemas integrados aplicados en la economía circular acuícola.

Este enfoque ayuda a mantener el equilibrio ecológico, reduce el uso de insumos externos y hace la acuicultura más eficiente y respetuosa con el medio ambiente. En definitiva, se trata de una método que beneficia al productor y al ecosistema, al fomentar una práctica más responsable (Dauda *et al.*, 2019).

Tabla I. Beneficios de la economía circular en la acuicultura.

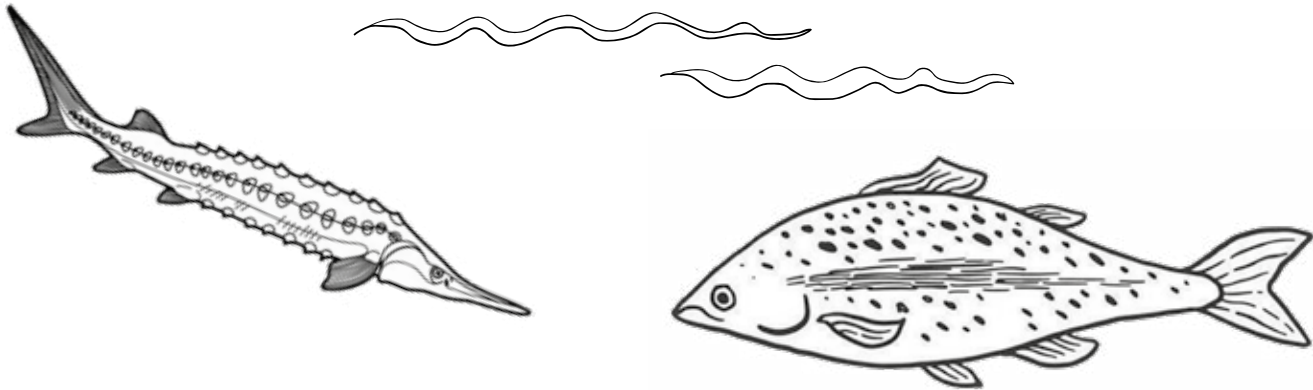
Categoría	Situación actual (lineal)	Situación bajo economía circular	Datos / ejemplos
1. Reducción de residuos y aprovechamiento de subproductos.	Hasta el 70% de los nutrientes en el alimento no son retenidos y se liberan como desechos.	Residuos utilizados como fertilizantes o insumos para producir microalgas; menor contaminación.	IMTA en México: retención de 80% N y 60% P (Omont, 2022).
2. Producción de energía renovable.	Lodos y restos se acumulan como desechos.	Digestión anaerobia convierte residuos en biogás (metano), generando electricidad y reduciendo costos.	1 tonelada de lodo → 200–400 m³ de biogás (1.2–2.5 MWh) (Zhang <i>et al.</i> , 2019).
3. Uso eficiente del agua.	Sistemas abiertos consumen grandes volúmenes de agua.	RAS circulares reducen consumo en 90-95%.	Beneficioso en zonas con escasez hídrica (Badiola <i>et al.</i> , 2012).
4. Valor agregado y diversificación de productos.	Residuos pesqueros poco aprovechados o descartados.	Transformación en harinas y aceites de alta calidad; alimentos funcionales y nutracéuticos.	+30% ingresos potenciales (FAO, 2020). Noruega: >80% de subproductos de salmón reutilizados.
5. Beneficios ambientales.	Descargas de nutrientes generan eutrofización y emisiones de CO ₂ .	Captura de CO ₂ y menor eutrofización por reutilización de nutrientes.	1.8 t de CO ₂ capturados por cada t de biomasa seca (Chisti, 2007). Descarga de nutrientes reducida 50-60% (Troell <i>et al.</i> , 2009).
6. Competitividad y sostenibilidad económica.	Altos costos de alimento y baja diferenciación en el mercado.	Reducción de costos (15-25%) y ventaja comercial en mercados sostenibles.	Consumo de “seafood verde” en la UE creció 30% en la última década (EUMOFA, 2021).

USO DE RESIDUOS

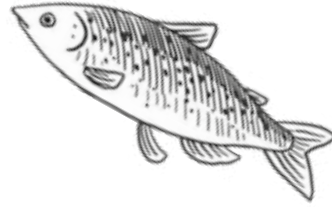
La economía circular aplicada a la acuicultura representa una estrategia de aprovechamiento de los residuos: cabezas, espinas y vísceras, que antes se descartaban, transformándolos en elementos de alto valor (harinas y aceites nutritivos). Estos derivados permiten crear alimentos más orgánicos para animales y también se usan en biocombustibles y bioproductos ecológicos (Ronza *et al.*, 2019). Así, se fomenta un ciclo de producción más eficiente y respetuoso con el medio ambiente, alineado con los principios de una economía circular sostenible en el sector acuícola (figura 2b).

SISTEMAS INTEGRADOS EN LA ACUACULTURA

La acuicultura puede combinarse con sistemas acuapónicos e IMTA, que reciclan nutrientes al cultivar especies de distintos niveles tróficos (Lee *et al.*, 2019; Joyce *et al.*, 2019; Sri-uam *et al.*, 2016), donde los residuos de una sirven de recurso para otra, reduce el impacto ambiental, la dependencia de fertilizantes, productos químicos, y puede adaptarse a diferentes escalas, desde huertos urbanos hasta unidades comerciales, siendo una opción accesible en muchas comunidades (figura 2c).



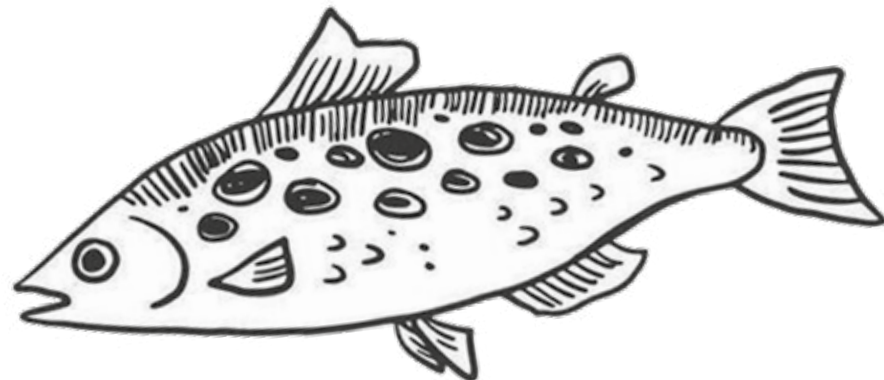
BENEFICIOS AMBIENTALES



La implementación de prácticas de economía circular en la acuicultura genera beneficios ambientales importantes. Mitiga la contaminación al disminuir residuos y promover la reutilización y el reciclaje, lo que ayuda a mantener ecosistemas más saludables y a reducir los agentes dañinos en agua, suelo y aire. También eleva la eficiencia en el uso de recursos como el agua, crucial ante la escasez y el cambio climático. Adoptar estos modelos fomenta un desarrollo responsable y sostenible, protegiendo el entorno y garantizando un mejor futuro para las próximas generaciones (figura 2d).

INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

La innovación tecnológica fortalece la economía circular al permitir una gestión más eficiente y sustentable de los recursos. Con sensores y monitoreo en tiempo real, se controlan parámetros como la calidad del agua y la temperatura, optimizando el uso de agua y energía, y manteniendo la salud de los organismos. Estas tecnologías facilitan decisiones rápidas al prevenir enfermedades y mejorar el rendimiento, mientras que la inteligencia artificial y el análisis de datos anticipan tendencias y ajustan operaciones con mayor precisión (figura 2e, f). Esto aumenta la rentabilidad y reduce el impacto ambiental, siendo clave para una acuicultura circular y sostenible (Fraga-Corral *et al.*, 2022; Sun *et al.*, 2019).



DESAFÍOS

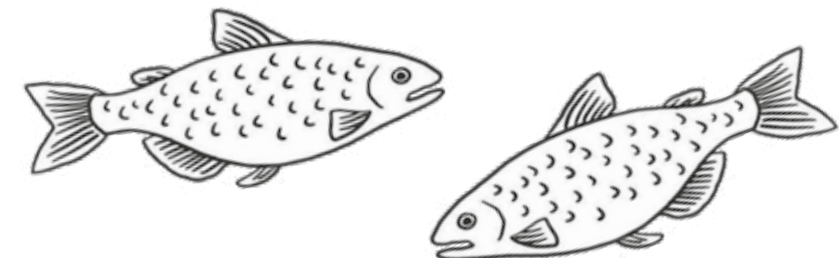


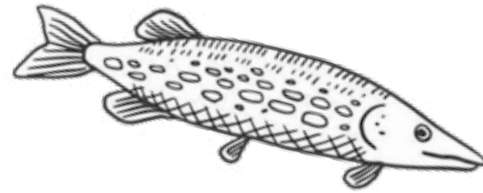
Aunque la economía circular en la acuicultura trae muchos beneficios, también enfrenta desafíos importantes. Uno de ellos es la inversión inicial, ya que implementar las nuevas tecnologías y prácticas requiere recursos económicos, lo que puede ser difícil para la micro y pequeña empresa. Otro reto es capacitar a las personas, es fundamental ofrecer formación y asesoría con el objetivo de que comprendan y apliquen correctamente dichos conceptos.

Además, la aceptación del mercado de productos reciclados o derivados de procesos circulares aún es limitada, ya que muchos consumidores y distribuidores tienen prejuicios o desconocen sus ventajas. Para superar estos obstáculos, es clave promover campañas de sensibilización, establecer normativas de apoyo y fortalecer la colaboración entre gobiernos, sector privado, instituciones educativas y comunidades. Juntos, podemos avanzar hacia una acuicultura más sostenible, innovadora y resiliente.

PERSPECTIVAS

La economía circular representa una alternativa innovadora y necesaria para transformar la acuicultura, promoviendo procesos más sostenibles y responsables. Al reciclar nutrientes, aprovechar residuos y adoptar tecnologías como la acuaponía e IMTA, se disminuye el impacto ambiental y se fortalece la resiliencia económica de dicha industria.





Aunque su implementación requiere inversión, capacitación y sensibilización, la colaboración entre sectores es clave si se desea superar estos desafíos. La economía circular en acuicultura reduce residuos en un 70%, mejora la eficiencia en el uso de agua (90-95%), genera energía renovable (200-400 m³ de biogás/tonelada), aminora los costos del alimento (hasta 25%) y crea valor agregado (+30% ingresos potenciales), además de mitigar impactos ambientales como eutrofización y emisiones de CO₂ (tabla I). En definitiva, no sólo es una opción viable, sino el camino hacia un modelo productivo más equilibrado, resistente y sustentable para el futuro.

REFERENCIAS

Badiola, Maddi, Mendiola, Diego, y Bostock, John (2012). Recirculating aquaculture systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges, *Aquacultural Engineering*, 51, 26-35, <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.07.004>

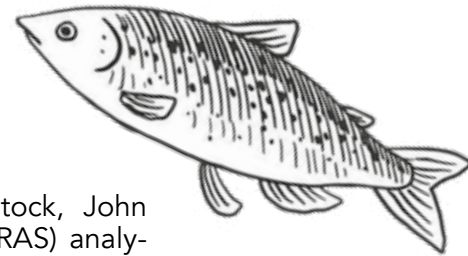
Chisti, Yusuf. (2007). Biodiesel from microalgae, *Biotechnology Advances*, 25(3), 294-306, <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>

Crab, Roselien, Defoirdt, Tom, Bossier, Peter, *et al.* (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges, *Aquaculture*, 351-356, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>

Dauda, Akeem B., Ajadi, Abdullateef, Tola-Fabunmi, Adenike S., *et al.* (2019). Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems, *Aquaculture and Fisheries*, 4(3), 81-88, <https://doi.org/10.1016/J.AAF.2018.10.002>

Fraga-Corral, M., Quiroga, M.I., Ronza, P., *et al.* (2022). Aquaculture as a circular bio-economy model with Galicia as a study case: How to transform waste into revalorized by-products, *Trends in Food Science & Technology*, 119, 23-35, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.026>

Joyce, Alyssa, Goddek, Simon, Kotzen, Benz, *et al.* (2019). Aquaponics: closing the cycle on limited water, land and nutrient resources, in: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G.M. (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydro-*



ponic Production Technologies for the Future, Springer International Publishing, *Cham*, 19-34, https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_2

Kardung, Maximilian, Cingiz, Kutay, Costenoble, Ortwin, *et al.* (2021). Development of the circular bioeconomy: Drivers and indicators, *Sustainability*, 13(1), 413, <https://doi.org/10.3390/su13010413>

Lee, Jinhwan, Kim, In-Soo, Emmanuel, Aalfin, *et al.* (2019). Microbial valorization of solid wastes from a recirculating aquaculture system and the relevant microbial functions, *Aquacultural Engineering*, 87, 102016, <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.102016>

Monteiro, Ana, Paquincha, Diogo, Martins, Florinda, *et al.* (2018). Liquid by-products from fish canning industry as sustainable sources of ω 3 lipids, *Journal of Environmental Management*, 219, 9-17, <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2018.04.102>

Omont, Alexia. (2022). *Evaluación de un sistema multitrofico integrado con camarón, ostión y macroalgas en México* (tesis de maestría), Universidad Autónoma de Baja California.

Observatorio Europeo del Mercado de los Productos de la Pesca y de la Acuicultura (EUMOFA). (2021). *Estructura europea de los precios de la cadena de suministro*, https://eumofa.eu/documents/20124/35698/PTAT+Octopus_final_ES.pdf/eeb01de5-5d3-fae8-41ed-b22aa-6fa2721?t=1614617198815

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020: la sostenibilidad en acción*, <https://doi.org/10.4060/ca9229es>

Ronza, Paolo, Robledo, Diego, Bermúdez, Roberto, *et al.* (2019). Integrating genomic and morphological approaches in fish pathology research: The case of turbot (*Scophthalmus maximus*) enteromyxosis, *Frontiers in Genetics*, 26(10), 1-17, <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00026>

Sri-uam, Puchong, Donnuea, Seri, Powtongsook, Sorawit, *et al.* (2016). Integrated Multi-

Trophic Recirculating Aquaculture System for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Sustainability*, 8(592), 1-15, <https://doi.org/10.3390/su8070592>

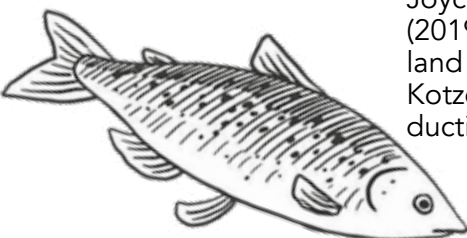
Sun, Jianan, Zhang, Jingjing, Zhao, Dandan, *et al.* (2019). Characterization of turbot (*Scophthalmus maximus*) skin and the extracted acid-soluble collagen, *Journal of Ocean University of China*, 18(3), 687-692, <https://doi.org/10.1007/s11802-019-3837-2>

Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., *et al.* (2009). Ecological engineering in aquaculture-Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems, *Aquaculture*, 297(1-4), 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.010>

Zhang, Cunsheng, Su, Haijia, Baeyens, Jan, *et al.* (2019). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 383-392, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.038>

Recibido: 16/06/2025
Aceptado: 27/08/2025

Descarga aquí nuestra versión digital.



SECCIÓN ACADÉMICA

Producción de combustible renovable para aviación utilizando lodo residual como materia prima

Producción de combustible renovable para aviación utilizando lodo residual como materia prima

Enrique Contreras-Vázquez*

José J. Cano-Gómez*

Gerardo A. Flores-Escamilla**

ORCID: 0000-0003-3761-7736

ORCID: 0000-0002-7810-098X

José de los S. López-Lázaro**

ORCID: 0000-0002-6461-1623

Magín Lapuerta-Amigo***

ORCID: 0000-0001-7418-1412

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.134-4>

RESUMEN

El 2% de las emisiones de gases contaminantes globales se generan en la aviación civil, y la bioturbosina (BJF) es una alternativa prometedora para reducir dichas emisiones. El hidropcesamiento de ácidos grasos (HEFA) permite su producción a partir de diferentes materias primas como lodos residuales. En este trabajo, se investiga el HEFA de lodos residuales en la producción de BJF utilizando Cu/SAPO-11 como catalizador. El rendimiento máximo para la producción de BJF fue 57%, con una carga de 6% Cu/SAPO-11 a 300°C, 20 bar de N₂ y 5 h. Este proyecto destaca el uso de lodos residuales para la producción de bioturbosina.

Palabras clave: biocombustible, catalizadores, HEFA, valorización, emisiones.

ABSTRACT

Civil aviation accounts for 2% of global pollutant emissions, and biofuel turbocharging (BJF) is a promising alternative for reducing these emissions. Hydroprocessing of fatty acids (HEFA) allows its production from different feedstocks, such as waste sludge. In this work, HEFA from waste sludge is investigated in the production of BJF using Cu/SAPO-11 as a catalyst. The maximum yield for BJF production was 57%, with a 6% Cu/SAPO-11 loading at 300°C, 20 bar N₂, and 5 h. This project highlights the use of waste sludge for bioturbosine production.

Keywords: biofuel, catalysts, HEFA, valorization, emissions, bioturbosine.

Distintos reportes han esclarecido que el sector de aviación civil contribuye con aproximadamente 2% de las emisiones de gases de efecto invernadero que se liberan a la atmósfera a nivel mundial (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022). Por lo anterior, distintos organismos como la Organización de Aviación Civil Internacional han establecido metas,

por ejemplo el Fly Net Zero, en busca de alcanzar cero emisiones netas en el sector. La bioturbosina (BJF) es un combustible sustentable para la aviación que podría reducir hasta en un 80% las emisiones de CO₂ en todo su ciclo de vida comparado con la turbosina fósil (International Air Transport Association, n.d.). Tan sólo en 2021, cerca de 140 millones

* Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México.

** Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Cunduacán, México.

*** Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real, España.

Contacto: enrique.contrerasvzqz@uanl.edu.mx, jose.canogmz@uanl.edu.mx, gerardo.florescm@uanl.edu.mx, adminiojs@ujat.mx, magin.lapuerta@uclm.es

de litros de bioturbosina fueron generados a partir de fuentes vegetales y aceites animales, principalmente.

No obstante, hoy en día, distintos gobiernos a nivel mundial promueven la transición del uso de fuentes vegetales hacia los residuos industriales como materia prima en los procesos productivos de biocombustibles. El lodo residual (LR) es un desecho que proviene de la planta de tratamiento de aguas, y puede ser la materia prima en la manufatura de bioturbosina debido a su alto contenido de ácidos grasos libres (80%) (Shafer *et al.*, 2006). Una planta puede producir hasta 40 metros cúbicos de LR al mes.

Actualmente, estos LR son confinados y representan cerca del 50% de los costos operativos de una planta de tratamientos de agua. Los procesos de Fischer-Tropsch y el de alcohol-a-turbosina han sido empleados como rutas de síntesis de bioturbosina, no obstante, su demanda energética y de insumos, y la discrepancia en la composición de la bioturbosina generada, las mantiene en vías de investigación. Por otro lado, la metodología de hidroprocesamiento de ácidos grasos (HEFA), la cual utiliza catalizadores de metales soportados, ha sido una de las rutas de producción de bioturbosina aprobadas para su uso en vuelos civiles alrededor del mundo (Vedachalam *et al.*, 2021).

La bioturbosina sintetizada mediante HEFA se ha convertido en una alternativa de su homólogo fósil debido a su alta densidad energética y menor requerimiento de insumos que otras rutas de síntesis (Niu *et al.*, 2019). Vedachalam *et al.* (2021) sintetizaron bioturbosina a partir de cera residual mediante HEFA en presencia catalizadores de Pt soportados en material a base Si y Al. Los autores destacaron la importancia de los sitios ácidos en los catalizadores empleados en reacciones HEFA, ya que se favorecen los procesos de hidrocraqueo e hidroisomerización.

Por su parte, Ayandiran *et al.* (2019) obtuvieron hasta un 60% en rendimiento para la producción de bioturbosina, donde se emplearon catalizadores de Cu/SiO₂-Al₂O₃, destacando que el Cu presentaba mayor selectividad a la remoción de moléculas de oxígeno de enlaces C=O presentes en los ácidos grasos libres y triglicéridos. El objetivo de este trabajo es sintetizar bioturbosina empleando catalizadores de Cu soportados sobre zeolita SAPO-11, utilizando lodo residual como una nueva fuente de materia prima.

METODOLOGÍA

El proceso de síntesis de bioturbosina se describe a continuación. Se recolectaron lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Agua y Drenaje de Monterrey, ubicada en el municipio de Apodaca, Nuevo León. Los LR se filtraron y se sometieron a un baño ácido (6% v/v, H₂SO₄) a 80°C durante una hora, con agitación constante (950 rpm) para promover la separación de fases. Al finalizar el baño ácido se obtuvieron tres fases (Moreno-Caballero, 2020): i) ácidos grasos libres (AGL) en la fase superior, ii) materia orgánica (tierra, grasa sin separar, entre otros) en la fase intermedia, y iii) sales inorgánicas (CaCO₃) en la fase inferior. Los AGL extraídos se llevaron a un proceso de un solo paso esterificación-transesterificación a 60°C, cuatro horas, relaciones 10:1 metanol:grasa, 0.1:1 catalizador (cloruro de colina y ácido tolueno sulfónico):grasa, y 350 rpm. El producto obtenido (biodiésel) fue empleado en las reacciones de hidroprocesamiento.

La zeolita SAPO-11 fue utilizada como soporte en la reacción de HEFA, la cual se sintetizó con base en el procedimiento propuesto por Lok *et al.* (1987)-Patente 4440871. Se uso isopropóxido de aluminio, sí-

lica coloidal y ácido fosfórico a manera de precursores de Si, Al y P en cantidades adecuadas para obtener una relación molar de producto de 0.032 Al: 0.042 P: 0.006 SiO₂. El resultado obtenido fue sometido a tratamiento hidrotermal a 200°C por 48 h. Posteriormente, se filtró, se lavó, se secó en aire a 60°C y se calcinó en flujo de aire a 600°C por 24 h. Finalmente, el Cu es soportado en la zeolita SAPO-11 aplicando el método de impregnación húmeda incipiente. Se utilizó Cu(NO₃)₂•5(H₂O) como precursor para lograr cargas nominales de 4 y 6% en masa en los catalizadores. Las muestras fueron secadas a 65°C, se calcinaron a 350°C durante una hora y se redujeron en una mezcla de H₂/N₂ (10%H₂/90%N₂) a 350°C por dos horas. Una vez sintetizado el catalizador de Cu/SAPO-11 se realiza el hidroprocesamiento de los AGL tratados (biodiésel).

Para las pruebas de reacción HEFA se añadieron los AGL pretratados en el proceso de esterificación-transesterificación y el catalizador a dos diferentes relaciones 20:1 y 30:1 (Contreras-Vázquez, 2024). Asimismo, se estudió el efecto de la atmósfera reactiva en el sistema: a) 100%N₂ y b) 35%H₂/65%N₂. Los productos de la reacción fueron separados a través de destilación fraccionada y los compuestos que conforman la bioturbosina fueron analizados por cromatografía de gases, empleando un detector de ionización de flama y una columna Agilent J&W GC column (30 m x 0.25 mmID x 0.25 mm). La tabla I muestra los códigos empleados en la bioturbosina sintetizada dependiendo de las condiciones de reacción de cada experimento realizado en este trabajo. Con la ecuación (1) se determinó el rendimiento (%m/m) en la generación de BJF.

$$\gamma = \frac{BJ_{,f}}{B100_{,o}} \times 100$$

Donde γ es el rendimiento másico para la producción de bioturbosina; BJ_f es el peso final de bioturbosina obtenido después de las reacciones HEFA; B100_o es la masa inicial de biodiésel utilizado como materia prima en las reacciones HEFA.

Tabla I. Claves, catalizadores y condiciones de reacción^a.

Catalizador	Relación biodiésel/catalizador	Atmósfera reactiva	Clave
4%Cu/SAPO-11	20:1	100%N ₂	BJFN-1
	30:1		BJFN-2
	20:1	35%H ₂ /65%N ₂	BJF-1
	30:1		BJF-2
6%Cu/SAPO-11	20:1	100%N ₂	BJFN-3
	30:1		BJFN-4
	20:1	35%H ₂ /65%N ₂	BJF-3
	30:1		BJF-4

a Temperatura de reacción = 300°C, Presión total = 20 bar. Tiempo de reacción = 5 h.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados en la figura 1 indican que la relación masa de biodiésel:catalizador (20:1 y 30:1) y la carga de catalizador (4% y 6% Cu) no tienen un efecto significativo sobre el rendimiento de producción (desviación porcentual <13%) de la bioturbosina bajo la atmósfera de mezcla (35%H₂/65%N₂). Esta condición sugiere el poder utilizar menor cantidad de catalizador, obteniendo rendimientos de alrededor del 50%. Por otro lado, bajo atmósfera de reacción de N₂ puro y carga de 6% de Cu, se logran rendimientos de 50% y 48% a relaciones masa de 30:1 y 20:1, respectivamente. Este comportamiento concuerda con los resultados obtenidos en atmósfera de mezcla (35%H₂/65%N₂) para cargas de 6%Cu/SAPO-11.

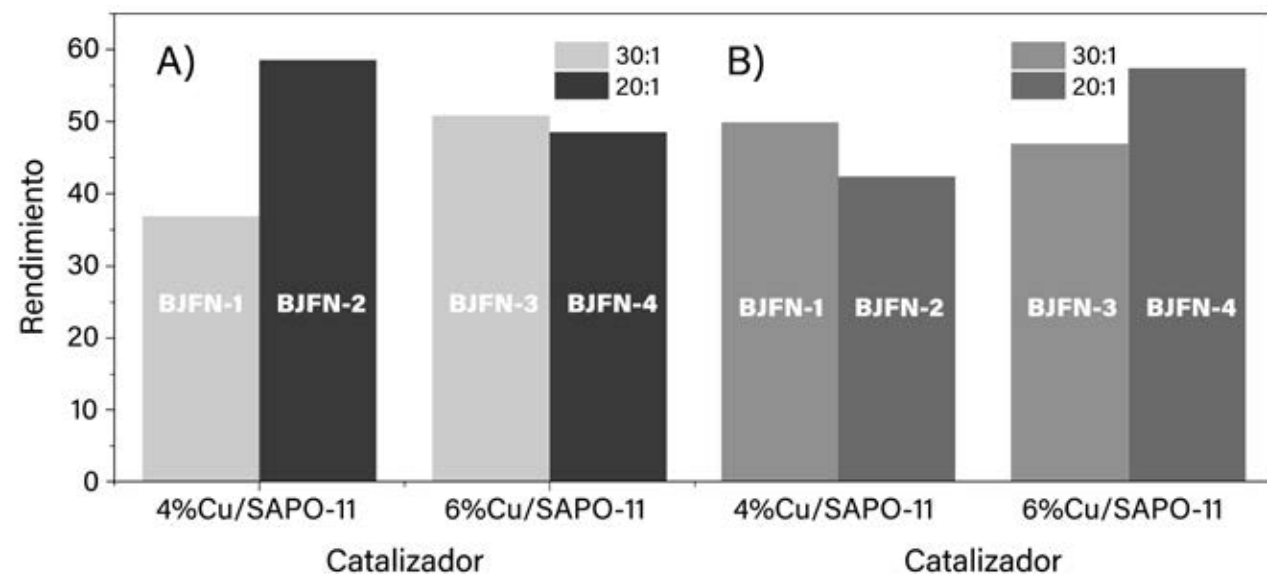


Figura 1. Rendimiento (%) para la producción de bioturbosina a 300°C en atmósfera de a) 100%N₂ y b) 35%H₂/65%N₂; ■/■, 20:1 relación peso biodiésel:catalizador. ■/■, 30:1 relación peso biodiésel:catalizador.

El mayor rendimiento en la producción de bioturbosina fue de 57% utilizando N₂ puro, 4%Cu/SAPO-11, y relación 30:1. Estos resultados nos indican la posibilidad de sustituir atmósferas reactivas de H₂+H₂ por N₂ puro, disminuyendo los riesgos operativos y el consumo de insumos con mayor costo. El alto rendimiento obtenido por este catalizador podría ser atribuido a una mejor interacción entre sus sitios activos y el biodiésel durante la reacción. La figura 2 muestra el efecto de la carga del catalizador sobre la distribución de cadenas de hidrocarburos (C₈-C₁₆) en ambas atmósferas reactivas. Ambas atmósferas presentan las mismas cadenas de hidrocarburos (C₈-C₁₆), sin embargo, se presenta un incremento de aproximadamente 0.2 en la fracción mol del C₂₀ para una carga de catalizador de 20:1 y una atmósfera de N₂, mientras que en las cadenas de C₁₉ esta diferencia es menor a 0.1 fracción mol.

Sin embargo, conforme las cadenas de hidrocarburos aumentan a C₁₈-C₂₀, el efecto de la carga del catalizador es más evidente. El Cu, a diferencia de catalizadores como el Ni y Co, muestra una selectividad mejor distribuida hacia cadenas de hidrocar-

buros de C₈-C₁₆, características de la turbosina de origen fósil. Esto se asocia a la propiedad de los catalizadores de Cu para promover la desoxigenación del grupo C=O presente en los ácidos grasos esterificados, lo cual favorece la producción de hidrocarburos, mismos que posteriormente se dividen en compuestos más ligeros por reacciones secundarias de hidrocrackeo y craqueo térmico.

Este tipo de reacciones también pueden promover la formación de cadenas de hidrocarburos más grandes (C₁₇-C₂₀) (figura 2; Contreras-Vázquez, 2024). No obstante, este tipo de hidrocarburos no son deseables de la turbosina fósil y deberían ser separados por destilación. Raza *et al.* (2021) mencionan que las cadenas de hidrocarburos deseables en la turbosina se encuentran entre C₈ y C₁₆. La presencia de cadenas más largas no es favorable, ya que eleva el punto de congelación, aumentando el riesgo de formación de cristales de cera a bajas temperaturas, lo que puede obstruir filtros y tuberías. Además, estos compuestos presentan menor volatilidad, dificultando la atomización y la combustión eficiente, lo que reduce la eficiencia del motor y aumenta las emisiones.

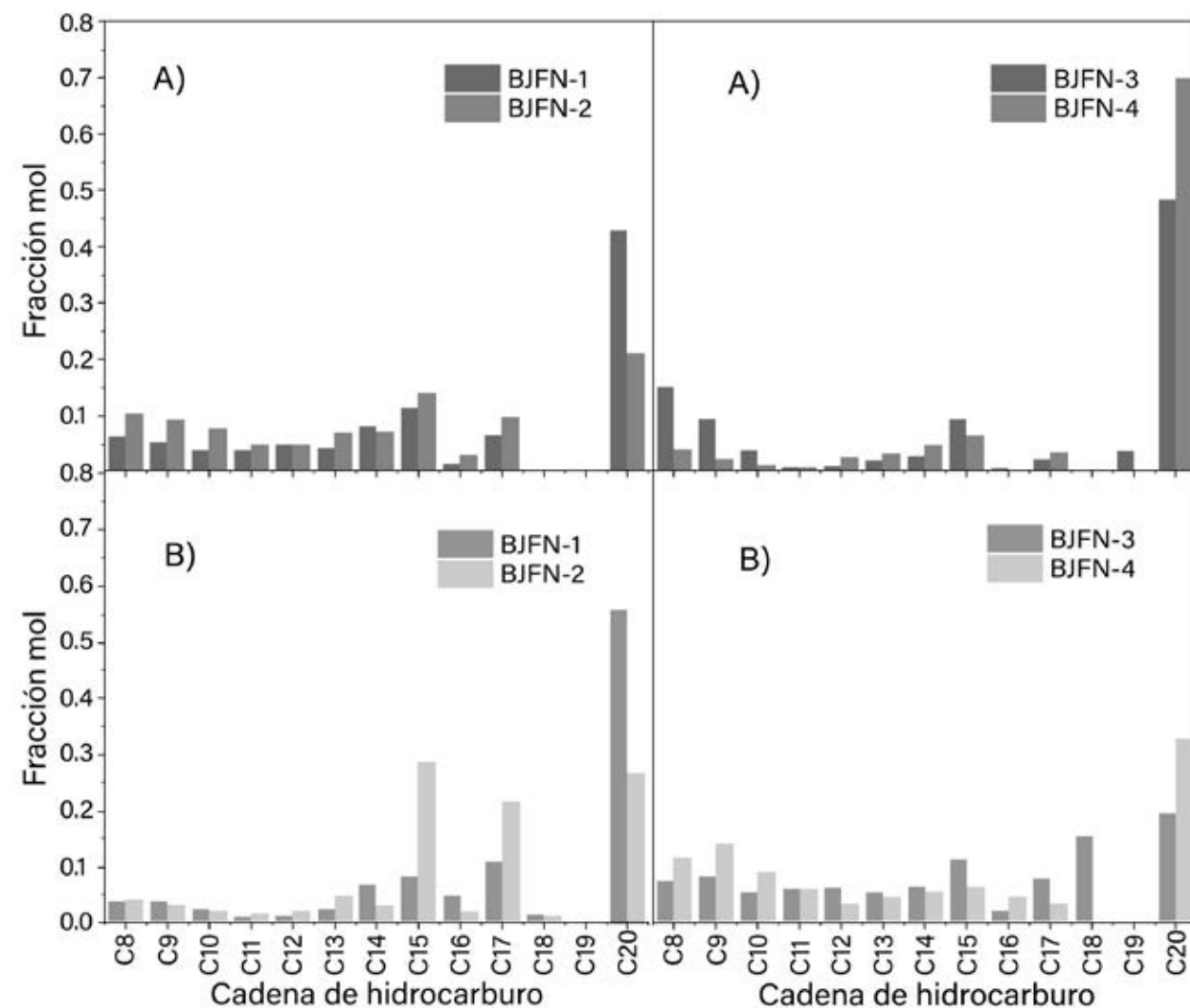


Figura 2. Perfiles de hidrocarburos de la bioturbosina a 300°C en atmósfera de a) 100%N₂ y b) 35%H₂/65%N₂; ■/■, 20:1 relación peso biodiésel:catalizador; ■/■ 30:1 relación peso biodiésel:catalizador.

CONCLUSIONES

Las cargas de catalizador de Cu (4 y 6%) en las reacciones de HEFA muestran diferencias menores al 0.1 fracción mol en las cadenas de (C₈-C₁₆), permitiendo utilizar cargas al 4%. El máximo rendimiento en la producción de bioturbosina fue de 57% en atmósfera de nitrógeno puro, lo que sugiere que

podría reducirse parcial o totalmente el uso de hidrógeno en este tipo de reacciones. Se observó que la bioturbosina generada en este trabajo se compone de hidrocarburos de (C₈-C₁₆), representativos a la turbosina de origen fósil. Esta condición se asocia a una mayor remoción de enlaces C=O, característico de los sitios activos del Cu. Este estudio resalta el uso potencial de lodos de aguas residuales en la generación de bioturbosina, promoviendo la valorización de desechos.

FINANCIADOR

Agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti) por el financiamiento otorgado para el desarrollo del presente proyecto con el número CBF2023-2024-1830.

REFERENCIAS

Ayandiran, Adewale A., Boahene, Prince E., Dalai, Ajay K., *et al.* (2019). Hydroprocessing of oleic acid for production of jet-fuel range hydrocarbons over Cu and FeCu catalysts, *Catalysts*, 9(12), 1051, <https://doi.org/10.3390/catal9121051>

Contreras-Vázquez, Enrique. (2024). *Producción y caracterización de mezclas bioturbosina a partir de ácidos grasos libres presentes en lodos residuales: análisis de impacto ambiental* (tesis de maestría), Universidad Autónoma de Nuevo León.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Aviation and the global atmosphere*. IPCC, <https://www.ipcc.ch/report/aviation-and-the-global-atmosphere/>

International Air Transport Association. (s.a). *Developing sustainable aviation fuel* (SAF), <https://www.iata.org/en/programs/environment/sustainable-aviation-fuels/>

Liu, Qiang, Zuo, Hongmei, Zhang, Qiang, *et al.* (2014). Hydrodeoxygenation of palm oil to hydrocarbon fuels over Ni/SAPO-11 catalysts, *Cuihua Xuebao/Chinese Journal of Catalysis*, 35(5), 748-756, [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(12\)60710-8](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(12)60710-8)

Lok, Benjamin M., Messina, Charles A., Patton, Ronald L., *et al.* (1987). *Crystalline silicoaluminophosphates* (Patent No. US4440871A), United States Patent and Trademark Office.

Moreno-Caballero, Brayan S. (2020). *Efecto de los óxidos metálicos sobre las propiedades fisicoquímicas del biodiésel producido a partir de aguas residuales* (tesis de maestría), Universidad Autónoma de Nuevo León.

Niu, Haibo. (2019). An overview on performance characteristics of bio-jet fuels, *Fuel*, 237, 916-936, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.10.079>

Raza, Muhammad, Anwar, Ahmad, Ashraf, Muhammad, *et al.* (2021). Chemical composition and low-temperature fluidity properties of jet fuels, *Processes*, 9(7), 1184, <https://doi.org/10.3390/pr9071184>

Shafer, Louis M., Striebich, Richard C., Gomach, James, *et al.* (2006). Chemical class composition of commercial jet fuels and other specialty kerosene fuels, *Energy & Fuels*, 20(4), 1743-1749, <https://doi.org/10.1021/ef050407e>

Vedachalam, Soundararajan, Boahene, Prince, Dalai, Ajay K. (2021). Production of jet fuel by hydrotreating of Fischer-Tropsch wax over Pt/Al-TUD-1 bifunctional catalyst, *Fuel*, 300, 121008, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121008>

Recibido: 16/06/2025
Aceptado: 15/08/2025

Descarga aquí nuestra versión digital.

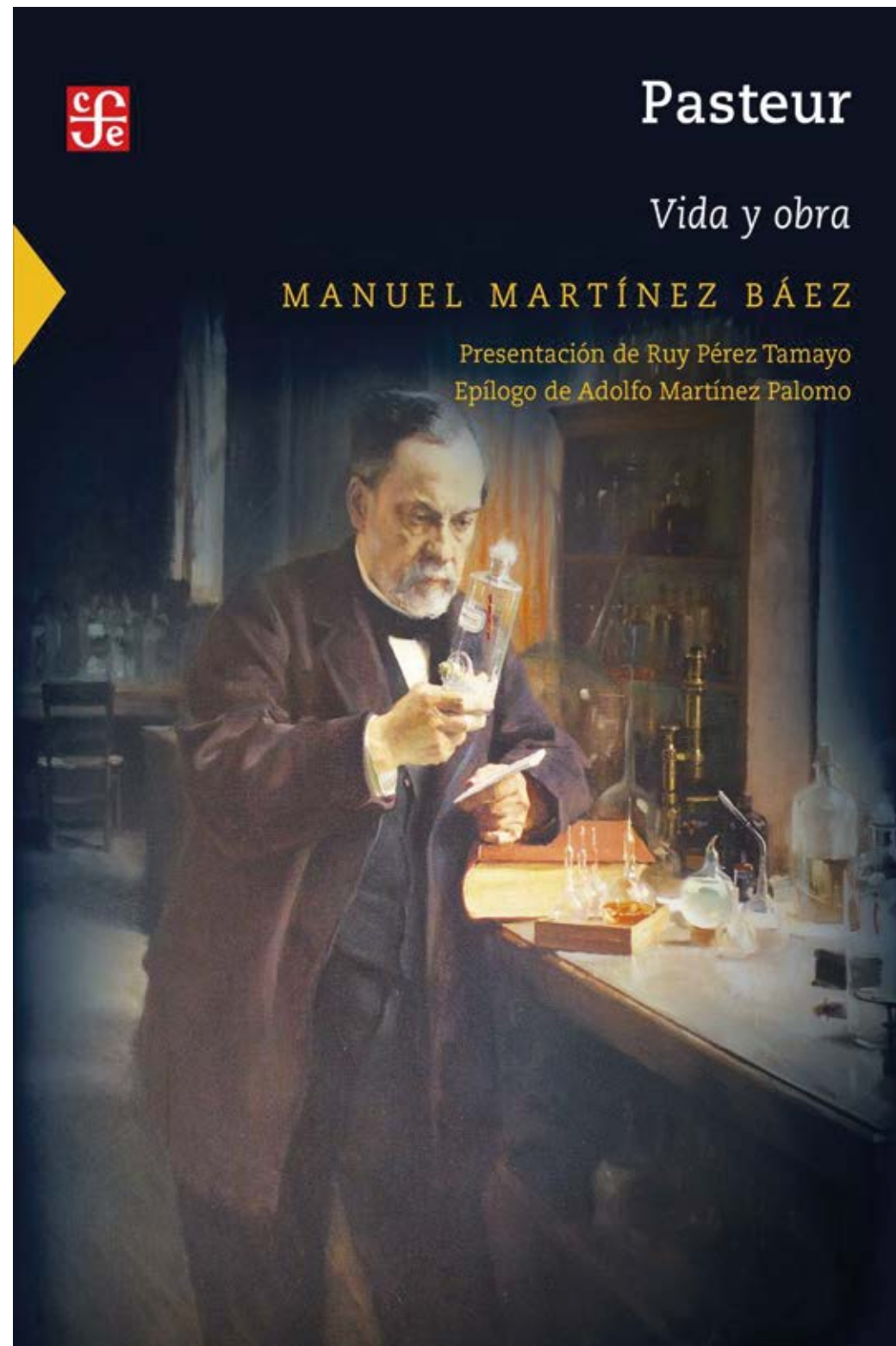


IMAGINARIA

La revista *CIENCIA UANL* te invita a publicar tus cuentos de ciencia ficción, dibujos, poemas, cómics o fotografías en la sección imaginaria, un espacio dedicado a las muestras artísticas.

Si estás interesado, manda un correo a esta dirección revista.ciencia@uanl.mx para mayor información



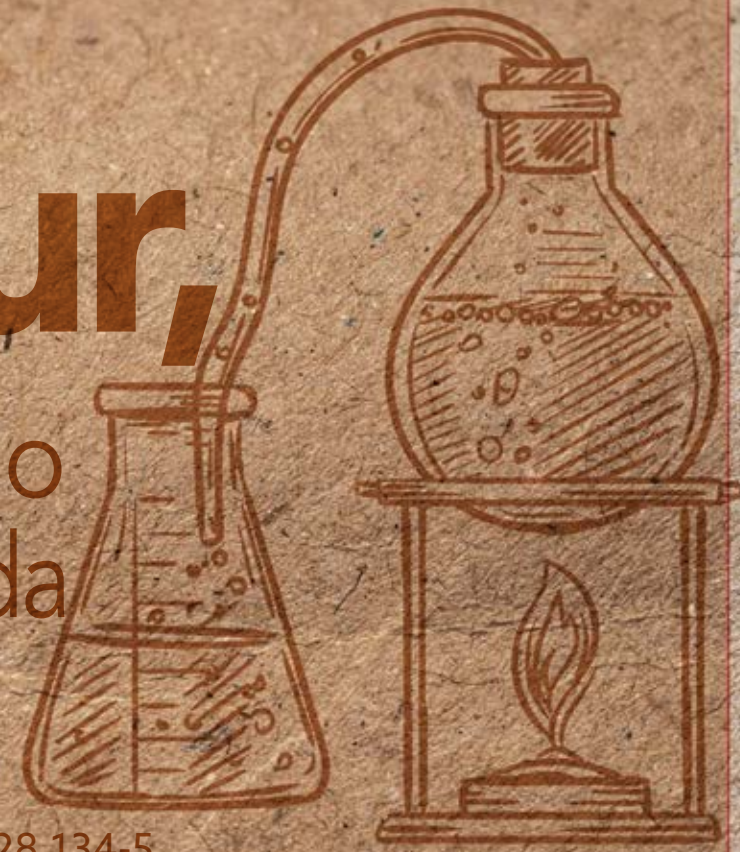


Pasteur,

la ciencia como una forma de vida

Martínez Baez, Manuel (2023),
Pasteur, vida y obra, México, Fondo
de Cultura Económica.

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.134-5>



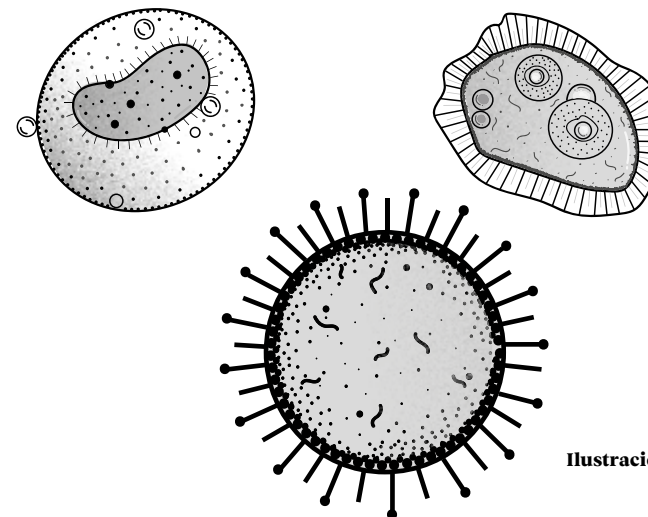
Zeferino Simón Galarza-Brito*

*Universidad Politécnica del Estado de
Guerrero, Taxco, México.

Contacto: zeferino.galarza@upeg.edu.mx

Cuando era joven llegué a escuchar a un eminente especialista decir que, a pesar de ser químico de formación, se ocupaba en la investigación en la línea de la microbiología. Su excusa era esta: "Si Pasteur fue químico, y se dedicó a la microbiología, ¿por qué yo no?". Esto me dejó un interés por la vida de este personaje. Si bien hoy es posible inclinarse por dicha área desde la licenciatura, debe tenerse presente que, en el tiempo de este científico francés, esta rama de la ciencia no existía o, para ser más precisos, no tenía nombre.

Sédillot, inspirado en el trabajo de Pasteur, sugirió usar la palabra "microbio" en 1878, y todos aquellos grandes personajes: Leeuwenhoek, Dutrochet, Raspail, Koch..., quienes estudiaron "pequeños animales", o "infusorios", como solían llamarles a veces, compartían una pasión por una disciplina emergente que cambiaría la manera de interpretar el funcionamiento de la naturaleza y la forma de actuar frente a las enfermedades. Si a usted le interesa la historia de la biología, y desea saber cómo se establecieron algunas de las bases de la microbiología, o el origen de la relación entre esta y la industria (que se convirtió en biotecnología, con el

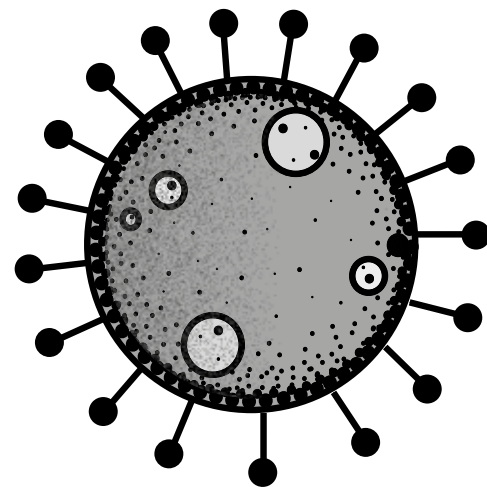
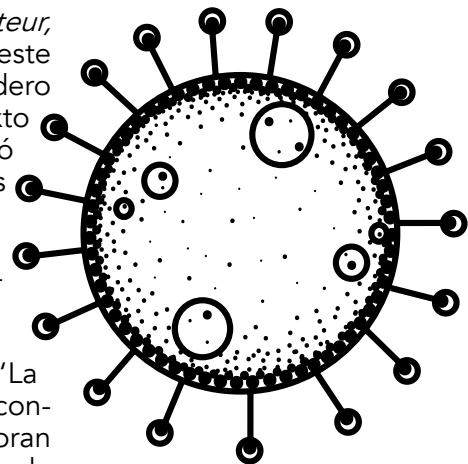


Ilustraciones: Olga Margarita González Nieves.

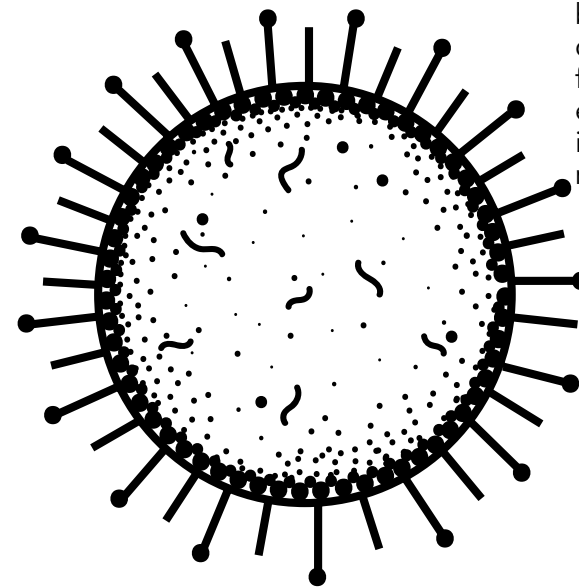
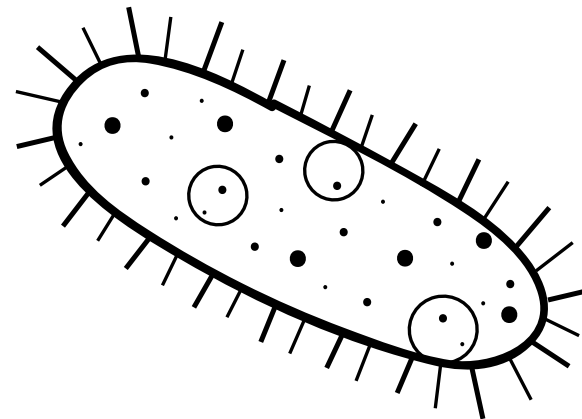
paso de los años), le recomiendo leer *Pasteur, vida y obra*, de Manuel Martínez Báez. En este libro aprenderá sobre el legado imperecedero del gran físico-químico francés, en el contexto de la agitada época intelectual que le tocó vivir, y a la que pudo guiar, en cuestiones como la generación espontánea, la cura de la rabia, la inocuidad alimentaria basada en la pasteurización, la vida sin aire (sin oxígeno), entre otras.

El texto está dividido en tres secciones: "La vida", "La obra" y "La personalidad", cuyo conjunto suma veintisiete capítulos que exploran el trabajo del sabio y profeta científico. En la primera, Martínez Báez expone algunos detalles íntimos de la biografía de Pasteur, como este consejo que le diera su madre en una carta: "Suceda lo que suceda, nunca dejes que te domine la pena". Esto podría ayudar a comprender el tesón que lo caracterizó en su afán por acercarse a la verdad, a pesar de las dificultades que encontró, incluyendo la pérdida de seres amados. Se descubre también que no todo fue fácil para él. Adquirir el puesto de profesor, por ejemplo, no lo logró en su primer intento. Tuvo que abrirse camino entre la élite de académicos y científicos, algunos de los cuales eran reacios a cambiar su concepción sobre la naturaleza y el origen de las enfermedades.

En la segunda sección, "La obra", se puede apreciar el genio experimental de nuestro personaje, planteado en temas particulares, como el estudio de la fermentación, que atribuyó a los microorganismos del tipo de las levaduras, que observó a través del microscopio. Pasteur también abordó la cristalización e isomería de compuestos orgánicos, esto le permitió



Ilustraciones: Olga Margarita González Nieves.

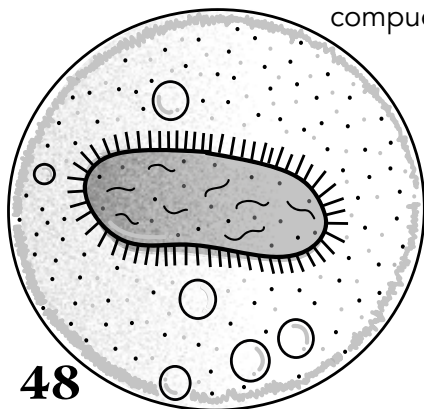
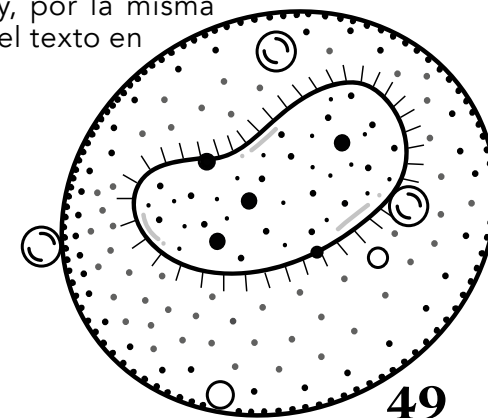


Ilustraciones: Olga Margarita González Nieves.

"profetizar" que las moléculas de los seres vivos tienen una quiralidad preferencial (a izquierda o derecha o, en sus palabras, levógiro o dextrógiro), y que algún día podrían sintetizarse biomoléculas con el enantiómero opuesto, algo que hoy se llama *Mirror Life*, o vida espejo, tópico que en fechas muy recientes ha puesto en alerta a la comunidad científica internacional por sus implicaciones o riesgos.

En esta sección también se discute el punto final que puso a la "teoría de la generación espontánea". Si bien él no fue el primero en aproximarse al tema y en demostrar que tal propuesta no resiste una prueba experimental, sí fue quien zanjó la cuestión para siempre, con sus famosos matraces tipo cuello de cisne y sus redomas desinfectadas y selladas al fuego. A pesar de los años, aún siguen estériles y pueden apreciarse en París.

En la tercera sección, "La personalidad", se comprende por qué es tan grande figura. Luis Pasteur honraba a su patria a través del trabajo arduo y meticuloso en favor de la humanidad. Lograr esto incluía ser, en parte, un actor político. Aquí lo podemos ver en busca de nobles ideales, más allá de la ciencia, pero su incursión en este ámbito no fue fructífera. A pesar de ello, pocos como él se esforzaron tanto en la creación de centros de investigación y en la implementación de formas modernas de aprendizaje, por ejemplo, las prácticas experimentales (en manos del estudiante) en laboratorio, con la finalidad de corroborar la teoría vista en el aula. Por lo antes expuesto, perdura su nombre y legado hasta nuestros días y, por la misma razón, en la presentación del texto en





cuestión, Ruy Pérez Tamayo escribió que Pasteur es “uno de los más grandes benefactores de la humanidad”.

Como cereza de pastel, este libro culmina con algunos apéndices, entre ellos “Pasteur y México”, en el que se puede aprender que el sabio francés recomendó la creación de un instituto antirrábico en nuestro país. Otro, “En defensa de Pasteur”, escrito por Adolfo Martínez Palomo, nos recuerda que no hay que dejarse influenciar por la pseudociencia o pseudohistoriadores, que tratan de echar tierra sobre las bases científicas comprobadas y verificables, o que buscan difamar a las figuras de la ciencia. Esto es algo que no debe omitir considerarse, especialmente ahora, pues debido a los movimientos negacionistas se está viendo el resurgimiento de enfermedades que ya estaban erradicadas por el esquema de vacunación.

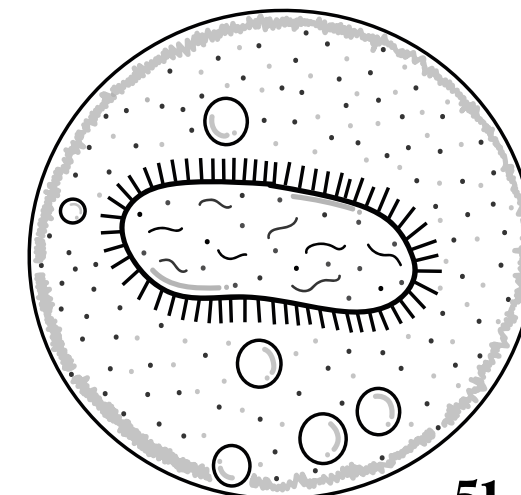
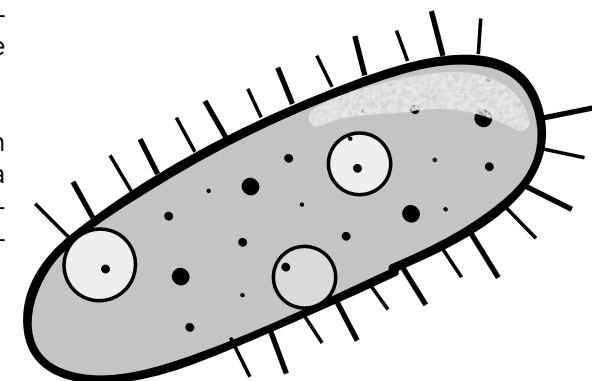
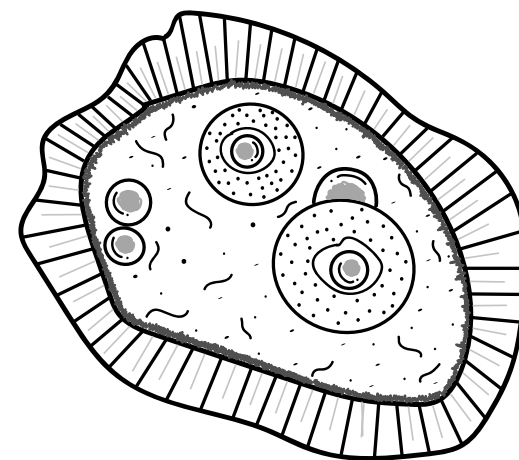
La inmunización, particularmente desde el tiempo de Pasteur, ha sido una práctica inmunoprotectora ampliamente utilizada en aras de mejorar la calidad de vida o, incluso, salvarla.

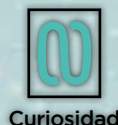
Vida y obra de Pasteur se presenta como un clásico interesante para la comunidad científica y el público en general. A través de sus diferentes capítulos tendrán felices lecturas que les serán de gran provecho.

Descarga aquí nuestra versión digital.



Ilustraciones: Olga Margarita González Nieves.





Curiosidad

Los microbios superhéroes:

cómo los hongos y bacterias salvan el suelo

Perla Xochitl Sotelo-Navarro*
ORCID: 0000-0002-1179-4884

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.134-6>

* Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Ciudad de México, México.
Contacto: perlaso@azc.uam.mx

La contaminación del suelo reduce la fertilidad y afecta el crecimiento de plantas, impactando la producción agrícola. Además, podría liberar sustancias tóxicas que dañan la salud humana y los ecosistemas, ¿sabías que hay pequeños seres invisibles que pueden sanear la tierra cuando se ensucia con petróleo y otros elementos peligrosos? ¡Sí! Se trata de bacterias y hongos, microorganismos que cumplen un papel clave en la depuración de superficies. Estos realizan un proceso conocido como biorremediación (Vizuite-García *et al.*, 2020), al ser utilizados para sanear terrenos de forma natural (figura 1).

¿CÓMO AYUDAN ESTOS MICROBIOS?

Podemos imaginar que el suelo contaminado es un espacio alterado por sustancias tóxicas que deben ser eliminadas. Estos microbios actúan como agentes que transforman los contaminantes en compuestos menos dañinos. Lo mejor es que trabajan sin descanso, día y noche, para dejarlo limpio otra vez.

LAS BACTERIAS: LOS LIMPIADORES RÁPIDOS

Algunas bacterias, por ejemplo, *Pseudomonas* y *Alcanivorax*, son expertas en “comerse” la suciedad. Se alimentan del petróleo y lo transforman en cosas que no dañan la naturaleza (Mekonnen *et al.*, 2024). Es como si tuvieran un apetito gigante por la cochambre del suelo. Las bacterias son tan pequeñas que no podemos verlas a simple vista, pero si las observáramos con un microscopio, veríamos que presentan diferentes formas: unas parecen bastones, otras son redondas y algunas tienen colitas que las ayudan a moverse. ¡Estas bacterias realizan procesos naturales sorprendentes que les permiten transformar y eliminar contaminantes del ambiente!



Figura 1. Microorganismos superhéroes que limpian el suelo.

LOS HONGOS: SUPERTRANSFORMADORES

Los hongos, en particular los del género *Trametes*, producen una especie de jugo característico que rompe los contaminantes en partes más pequeñas (Dinakarkumar, 2024). Así, el suelo puede volverse sano otra vez. A diferencia de las bacterias, éstos crecen formando largas hebras llamadas micelios, que se extienden de manera análoga a las raíces de las plantas. Estos micelios también favorecen la conectividad en el terreno, facilitando la actividad de otros microorganismos.

¿CÓMO SE USAN ESTOS MICROBIOS EN LA LIMPIEZA DEL SUELO?

Hay diferentes modos de ayudar a los microorganismos a hacer su labor (figura 2).

- Dándoles comida y aire: si la superficie tiene los nutrientes y el oxígeno que necesitan, trabajan más rápido (Marín, 2024); es como cuando tú comes bien, tendrás energía para jugar.
- Agregando más microbios, parecido a una enfermedad en la que requerimos una inyección: a veces se ponen más bacterias y hongos para que la limpieza sea más efectiva. Es equivalente a reforzar el sistema con más microorganismos y así aumentar la eficacia del tratamiento.
- Usando refuerzos: algunas plantas tienen raíces que ayudan a los microbios a absorber, extraer, degradar, filtrar o estabilizar los contaminantes. Así se convierten en superhéroes que trabajan en equipo.

Limpiando ahí mismo o llevando el suelo a otra área: dependiendo del problema, el proceso puede hacerse en el sitio específico o llevándolo a un lugar especial donde tratarlo. A veces es más conveniente removerlo y de esta manera sanearlo bien y luego devolverlo (figura 3). Este procedimiento se llama biorremediación, *in situ* cuando emplea microorganismos directamente en el espacio contaminado, mientras que *ex situ* si traslada el material afectado a otro lugar para su tratamiento controlado.

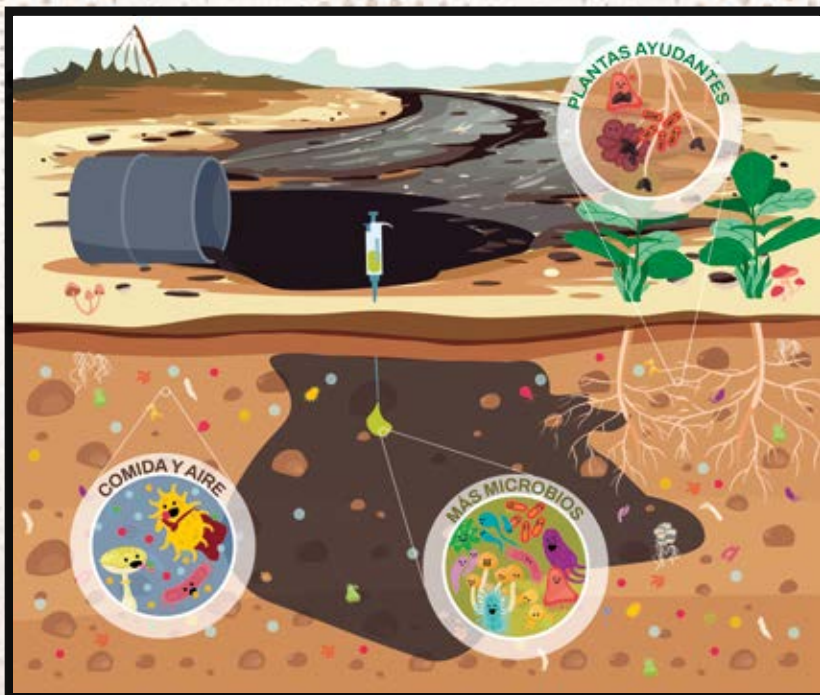


Figura 2. Condiciones para la limpieza del suelo.

La biorremediación tiene muchas ventajas: es natural y no contamina más el suelo ni el agua, es más barata que otros procedimientos, ayuda a que el terreno vuelva a estar lleno de vida, con plantas, insectos y diversos organismos que dependen de un ambiente sano. Pero también hay algunos retos: puede tardar un poco más que los demás métodos, no todas las superficies y sustancias se depuran igual de rápido, hay que vigilar que todo salga bien y que así el proceso sea efectivo, en ciertos casos es necesario incluso retirar la tierra afectada, luego es transportada para ser tratada con los microorganismos. Finalmente, ya saneado es devuelto al sitio y permite el crecimiento saludable de vegetación (figura 3).

EJEMPLOS ASOMBROSOS DE BIORREMEDIACIÓN

En algunas partes del mundo, los científicos han usado estos microbios superhéroes para eliminar grandes derrames de petróleo en playas, o en áreas contaminadas cerca de fábricas. Gracias a la

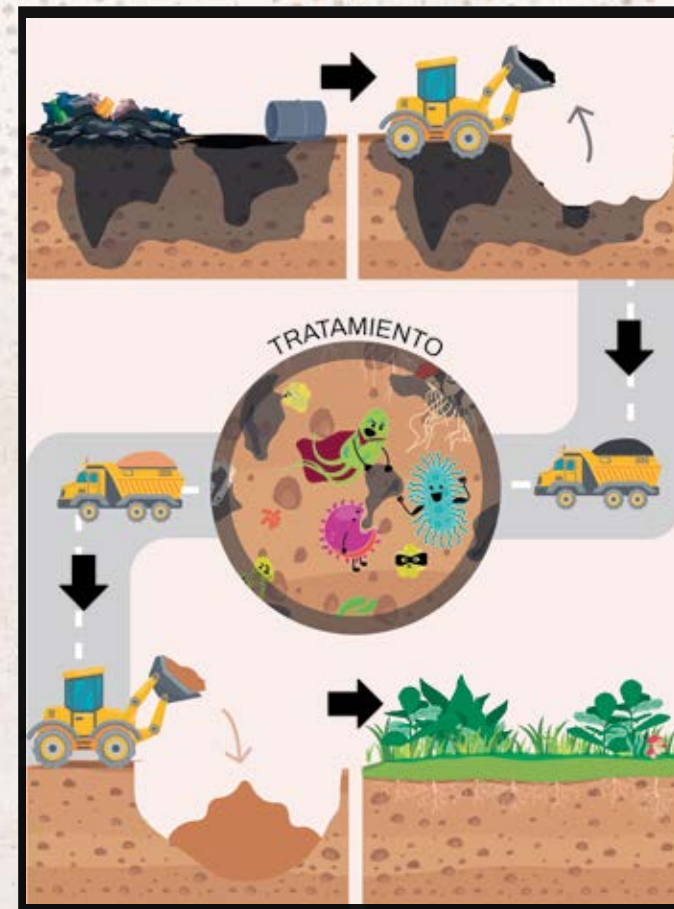


Figura 3. Proceso de limpieza del suelo.

biorremediación, dichos lugares volvieron a llenarse de vida y pudieron ser habitados por animales y plantas nuevamente.

Un caso relevante ocurrió en el derrame de petróleo en el Golfo de México en 2010, provocado por la explosión de la plataforma *Deepwater Horizon* operada por BP. El desastre liberó más de 4 millones de barriles de crudo al océano, afectando gravemente la vida acuática, las costas y la economía local. Por lo que los investigadores utilizaron bacterias marinas que ayudaban a descomponer el petróleo. ¡La naturaleza tiene sus propios limpiadores secretos!

Otro ejemplo relevante es el uso de hongos y bacterias en zonas contaminadas por metales pesados y residuos mineros, como ocurrió en ciertas áreas de la región del Amazonas en Brasil y en sectores industriales de India y China. En estos sitios, microorganismos resistentes fueron empleados para transformar o inmovilizar metales tóxicos: plomo, arsénico y cadmio, reduciendo su movilidad y toxicidad en el suelo.

También destaca su uso en derrames de petróleo en Alaska tras el accidente del *Exxon Valdez* en 1989, uno de los primeros ensayos masivos de biorremediación. Allí, se aplicaron fertilizantes en la costa para estimular el crecimiento de bacterias nativas degradadoras de hidrocarburos, acelerando el proceso natural de descontaminación. Estos ejemplos muestran el potencial de la biorremediación como un alivio ecológico efectivo ante distintos tipos de desastre ambiental.

REFLEXIONES FINALES

Los microorganismos son diminutos, pero realizan un trabajo enorme: ayudan a limpiar la contaminación sin necesidad de químicos peligrosos. Gracias a ellos, la naturaleza puede regenerarse y ofrecer soluciones frente a desafíos como la degradación de suelos, la restauración de ecosistemas y los efectos del cambio climático.

La próxima vez que observes el piso, recuerda que allí habita un mundo invisible lleno de bacterias y hongos que trabajan sin descanso. ¡Son héroes silenciosos que contribuyen a la salud del planeta y a la construcción de un futuro más resiliente y sostenible!

REFERENCIAS

Dinakarkumar, Yuvaraj, Ramakrishnan, Gnasekaran, Reddy, Koteswara, *et al.* (2024). Fungal bioremediation: An overview of the mechanisms, applications and future perspectives, *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 6, 293-302, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.07.002>

Marín, Tomás, D. (2024). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Latinoamérica: revisión entre 2010-2023, *Revista Estudios Ambientales*, 12(1), 27-43, <https://doi.org/10.47069/estudios-ambientales.v12i1.2278>

Mekonnen, Bassazin, A., Aragaw, Tadele A., Genet, Melkamu B. (2024). Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: A review on principles, degradation mechanisms, and advancements, *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1354422, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1354422>

Vizuite-García, Ricardo A., Pascual-Barrera, Alina E., Taco-Taco, Carlos W., *et al.* (2020). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos, *Revista Lasallista de Investigación*, 17(1), 177-187. <https://doi.org/10.22507/rli.v17n1a19>

Recibido: 16-06-2025
Aceptado: 05-08-2025

[Descarga aquí nuestra versión digital.](#)



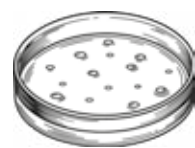
Un lienzo para potencializar el trabajo de los microorganismos: la carrera académica de Karla Muñoz

María Josefa Santos-Corral*

*Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
Contacto: mjsantos@sociales.unam.mx



Karla Muñoz es maestra y doctora en Ciencias, con especialidad en Biotecnología Ambiental, por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. Realizó una estancia posdoctoral en la Unidad Académica Juriquilla, del Instituto de Ingeniería de la UNAM, en donde funge como investigadora por México desde 2018. Sus áreas de especialidad son: enriquecimiento y purificación del biogás, revalorización de corrientes gaseosas ricas en CO₂, revalorización de residuos orgánicos, producción de biocombustibles gaseosos, en las que ha publicado más de 25 trabajos científicos. Además, la Dra. Muñoz imparte activamente clases en el Programa de Licenciatura en Ingeniería en Energías Renovables de la ENES-Campus Juriquilla, y en el Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería de la UNAM. En 2024 obtuvo el reconocimiento "Mujer Promesa en la Transición Energética" 2024-2025 que otorga la embajada de Francia en México, el IFAL y ENGIE. Asimismo, es investigadora nacional, nivel II, del SNII.

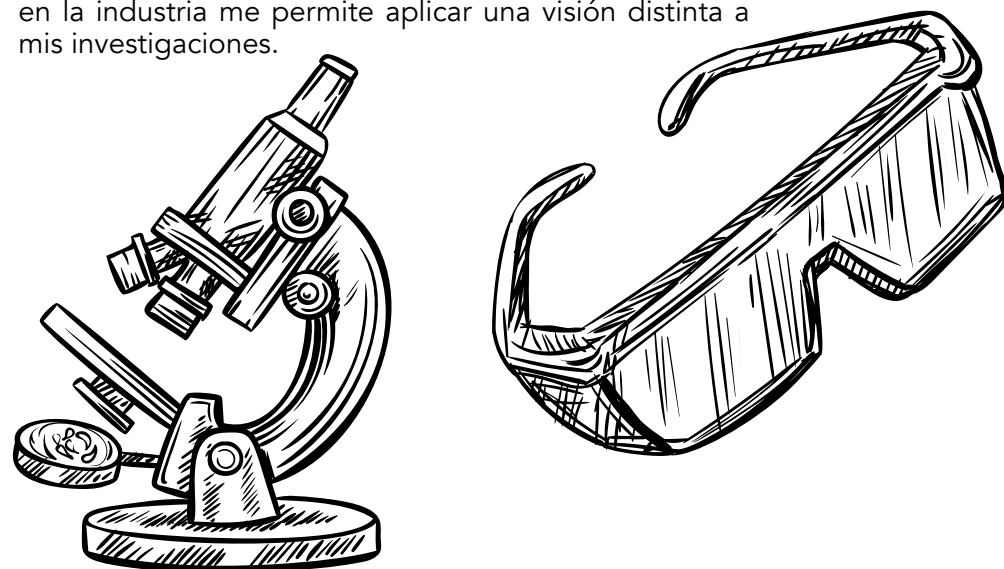


¿Cómo descubre la doctora Muñoz su vocación por la ciencia?

Desde la secundaria comencé con esa inquietud. Ahí conocí a un profesor que impartía la clase de ética y que se preocupaba mucho por el entorno. Era alguien especial, muy comprometido con el cuidado del ambiente, que nos transmitía este interés más allá de lo que los libros señalan. De ahí me empezaron a gustar esas cuestiones. Por esa razón estudié ingeniera ambiental.

Lo que sí no tenía muy claro es que me quería dedicar a la investigación y no tanto porque no me llamara la atención, sino porque no sabía bien qué se hacía ahí. Así que lo que me decantó por este trabajo fue la cercanía del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (Cinvestav) a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Politécnico, donde cursé la licenciatura. En ese entonces teníamos que hacer un proyecto terminal que implicaba una estancia de investigación o estadia en alguna empresa. Conocí a una persona que la estaba llevando a cabo con el Dr. Héctor Poggi y ahí terminé realizando el proyecto para la licenciatura, posteriormente la maestría y el doctorado.

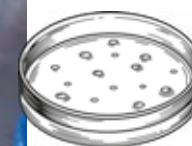
Al concluir la licenciatura trabajé un rato en una empresa, lo mismo cuando terminé la maestría, pero me di cuenta de que lo que más me gustaba era la ciencia, porque en ella siempre se está aprendiendo y descubriendo cosas nuevas que ayudan a solucionar problemáticas ambientales. Sin embargo, el haber participado en la industria me permite aplicar una visión distinta a mis investigaciones.



¿Qué la hace decantarse por la biotecnología ambiental?

Siempre me gustó trabajar en la conservación del ambiente. Me acuerdo que, cuando era adolescente, podías entrar a una asociación y pagar cuotas mensuales para colaborar en la protección de la naturaleza. Ya después, en la licenciatura, me entusiasmé con el tratamiento del agua y del aire, pero al llevar a cabo la estancia de investigación descubrí de lo que son capaces los microorganismos y me parecieron maravillosos. Nos pueden ayudar a remediar, a crear otras cosas, como la producción de biocombustibles a partir de la valorización de residuos orgánicos, mi tema de estudio.

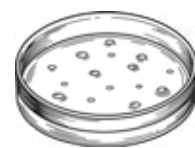
Entonces se me hacía increíble que nosotros les diéramos lo que llamamos basura y ellos lo transformaran en bioenergía. Me parecen maravillosos porque hacen de todo, pero también terribles por la misma circunstancia. Por tal motivo debemos encontrar la forma de dirigir su metabolismo hacia donde queremos y así obtener lo que buscamos. Es grande el reto que une esta parte de ingeniería con la de procesos, y otros temas como el control automático. A mí me impresionan los microorganismos, su capacidad para generar y hacer muchas cosas y de resistir todas las condiciones a las que los sometemos. Conocer esas propiedades fue lo que me decantó a trabajar con ellos.



¿Qué implica el trabajar con residuos orgánicos?

Desde pequeña me gustaba la separación de la basura y reciclar; sin embargo, cuando vas creciendo y profundizando en el tema necesitas ir más lejos. Clasificar es parte de la solución, pero la basura se tiene que ir a algún lado, y se debe hacer algo con los desechos separados. Al utilizar los residuos orgánicos, con ayuda de los microorganismos, se puede reducir la cantidad, su volumen y eso mejora su manejo. Adicionalmente, trabajar con desechos orgánicos es un reto para ellos, ya que podrían venir compuestos que dificultan que se dirijan a la ruta metabólica que necesitamos. Además, ya dentro de la economía circular cambia la visión pues el residuo se vuelve una materia prima susceptible de ser utilizada en la generación de otras cosas.





¿Qué aplicaciones tiene el trabajo con residuos orgánicos más allá de los laboratorios universitarios?

En este momento estoy enfocada a los residuos orgánicos, y la manera en que a partir de éstos se genera biogás y enriquecerlo. Por ejemplo, de una concentración del 60 al 70 de metano, queremos llevarlo a más del 90, para convertirlo en un sustituto del gas natural. Eso diversifica sus aplicaciones, porque el gas natural lo podemos utilizar en las casas, y en otros lugares, tiene una gran variedad de usos. Lo anterior es una alternativa que se trabaja en muchos países y empieza a explorarse en México. Un detalle importante es que puede favorecer el uso del gas que se produce de los rellenos sanitarios.

El relleno sanitario si bien es una opción más controlada en el manejo de los residuos que los tiraderos a cielo abierto, de todas maneras se origina un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica enterrada y, en algunos lugares, lo que se hace es quemarlo, debido a que el metano contamina más que el propio CO_2 y este biogás tiene metano. Entonces, una alternativa es tomar el biogás que se forma y purificarlo para después producir electricidad o calor, no obstante, se puede enriquecer y llevarlo hasta biometano.



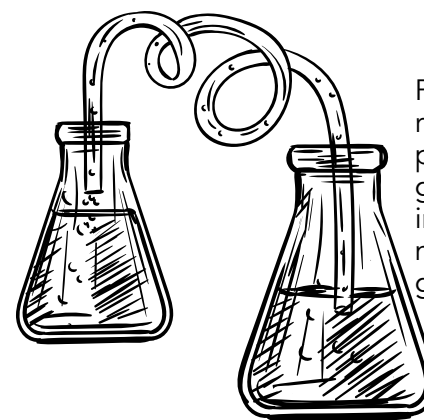
¿Qué retos encuentra para la transferencia de sus investigaciones?

Yo no he hecho transferencia aún. El proceso que investigo se encuentra en una etapa temprana de desarrollo. Es parte de un proyecto de ciencia de frontera costado por la Secihti, que está en su tercer año de ejecución. Con éste se probó el concepto y se están centrando las bases para su posterior escalamiento. Ahora estoy en la búsqueda de un nuevo financiamiento para poder llevarlo a piloto y en algún momento probarlo en campo. No he logrado la transferencia por dos cosas: la primera es que es una investigación joven, por así decirlo, y la segunda, por falta de financiamiento que me permita llegar a los niveles necesarios para transferirlo.



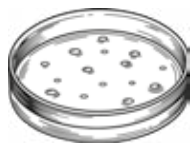
¿Qué habilidades se necesitan para formar e integrarse a redes internacionales de investigación?

Pues la verdad es salir un poco de lo común, y valerse de las redes sociales tradicionales en la academia. En mi caso empecé a usar la red de LinkedIn, donde conocí a más investigadores, descubrí opciones de trabajo en las que me podía involucrar, lo que me ayudó a conectarme con otras personas. Dentro de éstas, di con la información del premio que gané el año pasado, el de "Mujer Promesa en la Transición





Energética”, que otorga la embajada de Francia en México y Engie, ahí lo publicitaban. Ahí ubiqué a una colega, la Dra. Diana Martínez Casilla, quien había ganado el año anterior, la felicité, y el siguiente año me compartió la convocatoria y apliqué. También encontré diferentes redes, como las de Women in Carbon, que estaba integrado el capítulo de México, y solicité ser una de sus embajadoras. Asimismo, me ha permitido tener conexión con otros colegas, que luego veo en congresos y es difícil contactarnos de otra manera. La verdad las redes sociales me han ayudado a moverme fuera del Instituto de Ingeniería de Juriquilla.



¿Qué le ha dado la UNAM a la doctora Muñoz y usted qué le ha dado a esta Universidad?

Todos mis estudios los cursé en el Politécnico, comencé con la vocacional, luego fue la licenciatura, de ahí al Cinvestav que también forma parte del Politécnico. En la UNAM realicé un posdoctorado y después me quedé como investigadora por México, entonces es realmente donde me he desarrollado como tal. La UNAM me abrió las puertas, me ha dado una familia académica, con mis colaboradores, gente de la que he aprendido muchísimo. Me ha otorgado las herramientas para poder investigar y desenvolverme de manera personal y académica. Creo que fue la tela en la que he podido escribir mi labor científica. En suma, me regaló un lienzo en blanco.



Yo le he dado mucho empeño, me he esforzado, he tratado de responder de la misma forma, siempre me gusta mostrar los productos de mi trabajo como parte del quehacer de la UNAM. Entiendo muy bien que aquí tengo el contexto que me ayuda a desarrollarme, es una gran plataforma de despegue. Por ello busco ser buena profesora, buena investigadora, para poner en alto el nombre de la UNAM. Quiero hacer una pintura bonita en ese lienzo que me otorgaron.

Muchas gracias doctora Muñoz.



Descarga aquí nuestra versión digital.





Evaluación de impacto ambiental: clave para la sustentabilidad

Pedro César Cantú-Martínez*
ORCID: 0000-0001-8924-5343

* Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México.
Contacto: cantup@hotmail.com

La evaluación de impacto ambiental (EIA) se considera una de las disciplinas clave de la gestión ecológica y, al mismo tiempo, un componente importante de las actividades prácticas empresariales en apoyo al entorno, a partir de las cuestiones financieras que desempeñan (Barrow, 1999a). Este tipo de valoraciones cuenta con un enfoque socioambiental para resguardar el hábitat natural, la salud y bienestar de todos sus elementos, y con ello brindar una seguridad que permita resolver las eventualidades inherentes al desarrollo económico y procesos modernos de carácter tecnológico (Franco, 2015).

El problema de la protección del medio ambiente es uno de los más urgentes, puesto que la vida, la calidad sanitaria y ecológica de éste dependen directamente de su solución. Por este motivo, la evaluación cualitativa y cuantitativa a través de la EIA de las actividades económicas que se proyectan hacer es el procedimiento más importante para establecer el grado de seguridad ambiental, ya que permite prever y resolver

los problemas anticipadamente (Gómez de Balugera *et al.*, 2018). Esto gracias a acciones de monitoreo y generación de sistemas que protejan los ecosistemas y las personas del efecto negativo del avance de las actividades empresariales.

Por consiguiente, en la actualidad, la EIA se ha convertido en una evaluación con carácter estratégico en el concierto internacional, y el proceso mismo de valoración de impacto se está transformando de puramente ecológico a uno socioecológico-económico (Trejo, 2021). Así, en el presente manuscrito abordaremos cuál es el origen de la EIA, qué es y cómo se conforma al proveer los aspectos relevantes que se relacionan entre el avance del desarrollo urbano y económico con las implicaciones de orden ambiental, qué métodos de valoración emplea y terminaremos con algunas apreciaciones finales al respecto.

GÉNESIS DE LA EIA

La EIA fue contemplada como una medida universal a partir de la Declaración de Río llevada a cabo en junio de 1992. Y particularmente hace mención, en el Principio 17: "Deberá emprenderse una evaluación del impacto ambiental, en calidad de instrumento nacional, respecto de cualquier actividad propuesta que probablemente haya de producir un saldo negativo considerable en el medio ambiente y que esté sujeta a la decisión de una autoridad nacional competente" (Naciones Unidas, 1992). De esta manera, en los años subsiguientes, una

gran cantidad de países fueron incorporando paulatinamente a sus legislaciones el procedimiento de la EIA. Sin embargo, su planteamiento emerge en su enunciación –por primera ocasión– en los Estados Unidos, a través de la aprobación de un ordenamiento legal en 1969 (Barrow, 1999b; Wood, 2003). A partir de entonces, la EIA se fue diseminando en el concierto internacional hasta alcanzar la difusión mundial mediante la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

El paradigma que subyace en el Principio 17 es que las EIA se conviertan en un valioso procedimiento con carácter sustentable. Que juntamente con el monitoreo y otras formas de supervisión, optimicen la comprensión de la efectividad de las disposiciones explícitas en políticas socioambientales; además de favorecer una rendición de cuentas por las autoridades gubernamentales y financiadores de proyectos productivos que, de manera general, conlleven a fundamentar legalmente las decisiones y compromisos contraídos por los promotores y funcionarios públicos. Adicionalmente, estas EIA allegarán información de cómo se asignaron las autorizaciones para el surgimiento de emprendimientos que impulsan prioritariamente el bienestar social y ambiental.

¿QUÉ ES LA EIA?

La EIA es una herramienta indagatoria que protege el medio ambiente. Su principal objetivo es averiguar la manera en que lo puede afectar un plan o acción antes de llevarse a cabo. Esto nos ayuda a tomar



mejores decisiones y a planificar un futuro sostenible. Sin embargo, Garmendia *et al.* (2005: 27) comentan lacónicamente que la EIA es “una valoración de los impactos que se producen sobre el ambiente por un determinado proyecto. Ésta nunca será objetiva, ya que tiene siempre connotaciones subjetivas debido a que la referencia es la calidad ambiental, un concepto subjetivo”. Es importante hacer énfasis en que una EIA se debe realizar antes de empezar cualquier proyecto, no después. Así se pueden prevenir, predecir y mitigar los efectos potencialmente perjudiciales, para asegurarnos de que estamos cuidando el entorno natural, la calidad sanitaria y la salud humana (Conesa, 2009).

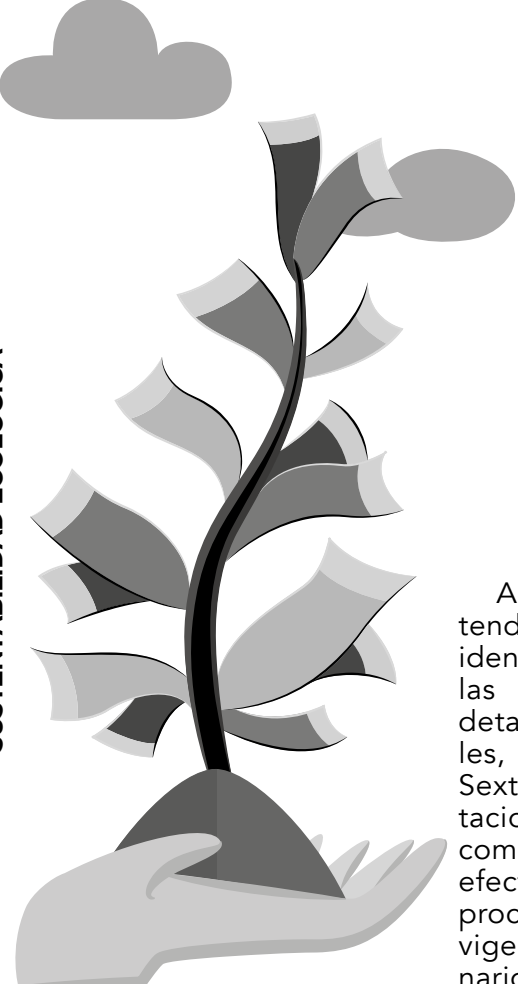


En términos de Perevochtchikova (2013: 284), su fin se centra en percatarse de los factores que producen la “presión antropogénica y de la situación ambiental en general en un territorio y tiempo determinados; lo que permite evaluar la magnitud de los cambios sucedidos, detectar sus dinámicas evolutivas y proponer las medidas adecuadas de respuesta al respecto”. De esta manera, en el concierto internacional, las naciones que han implementado la EIA como un procedimiento administrativo y legal, lo consideran una forma de control y política ambiental (Pardo, 2002; Toro-Calderón *et al.*, 2013), un notable instrumento que permite tomar disposiciones acerca de proyectos de aprovechamiento e infraestructura privada, obras públicas y actividades productivas, que de modo plausible provocarán impactos de carácter significativo.

ESTRUCTURA DE UNA EIA

La estructura de una EIA puede variar según el marco referencial administrativo que lo solicite; asimismo, podría ser distinta en diferentes naciones (Gómez y Gómez, 2013). Sin embargo, por lo general tendrá que contener ciertos elementos mínimos para constituir un documento que se conste como tal (Cantú-Martínez, 2023; Cantú-Martínez, 2025). En primera instancia, contar con los datos del proyecto a realizarse, juntamente con la información del promovente de la obra y del responsable que lleva a cabo la evaluación. Segundo, describir a detalle las obras, actividades y planes de desarrollo futuro. Tercero, dar a conocer la relación existente de la propuesta con estos planes y ordenamientos de carácter jurídico vigentes que permitan su viabilidad. Cuarto, especificación del entorno natural en el que irrumpirá el nuevo emprendimiento.



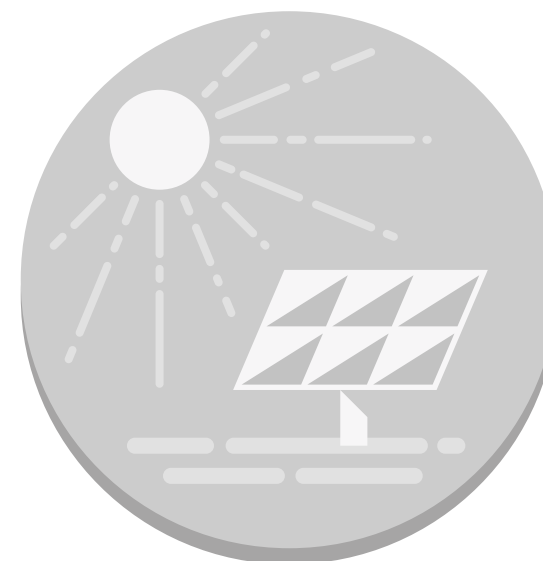


Adicionalmente, la EIA tendrá un quinto apartado: identificar, referir y valorar las alteraciones potenciales, detallando cuáles serán puntuales, acumulativos o bien residuales. Sexto, dar a conocer las instrumentaciones y medidas de mitigación o compensatorias que disminuirán los efectos negativos vinculados con los procedimientos normativos y legales vigentes. Séptimo, plantear los escenarios que se producirán con el nuevo emprendimiento, además de hacer constar si se consideró el estudio de alternativas a la instalación de la obra referida. Octavo, establecerá las disposiciones de un plan de seguimiento y monitoreo de las condiciones ambientales, haciendo énfasis durante la preparación del sitio, construcción y operación del emprendimiento. Noveno, conclusiones en relación con la perspectiva y posibilidad de implementación de la obra. En décimo lugar, hacer constar qué procesos de carácter técnico utilizó para llevar a cabo la EIA, así como el sustento documental de la información que se ha dado a conocer en los apartados anteriores.



¿QUÉ METODOLOGÍAS EMPLEAN LAS EIA?

Las metodologías empleadas en una EIA son muy variadas y distintas. Algunas acciones son generales, mientras que otras son más específicas. Pero independientemente del procedimiento que se maneje, hay técnicas realmente útiles en el cálculo del impacto ambiental. Incluso se diseñaron inicialmente en proyectos particulares, sin embargo, podrían ser ajustadas para el plan en turno, por lo cual continúan siendo objetivamente válidas (Garmendia *et al.*, 2005). Por otra parte, se aduce que mayormente los métodos empleados pueden catalogarse de la siguiente manera: *a) ad hoc*, *b)* listas de cotejo, *c)* redes de causa-efecto, *d)* sistemas de interacciones, *e)* matrices causa-efecto, *f)* análisis de amenazas, *g)* análisis de sistemas, *h)* sistemas de información cartográficos y, finalmente, *i)* técnicas sustentadas en indicadores e índices (Mora-Barrantes *et al.*, 2016; Cantú-Martínez, 2023).



Los principios que rigen estas metodologías se hallan en la valoración estimativa y de aproximación a la realidad implicada. Para esto es forzoso contar con fuentes de suministro de información sobre el entorno a intervenir como las connotaciones públicas resultantes de éste desde las perspectivas de los factores fisicoquímicos, biológicos y socioeconómicos derivados en gran parte de las disposiciones legales, normativas y administrativas existentes. Con el objetivo, claro está, de proteger la diversidad y el balance natural de los sistemas, la base y garantía en un desarrollo sustentable que busque abatir la pobreza extrema (Astorga *et al.*, 2007).

CONSIDERACIONES FINALES

Como se ha evidenciado, la EIA es el protocolo que contiene la documentación primordial que ayuda a valorar el impacto de un nuevo emprendimiento sobre las distintas dimensiones que constituyen el ambiente: el ámbito social, económico y ecológico. Es transcendental subrayar que este registro se transforma en una fuente de mediación entre las personas que desean invertir en un proyecto y la sociedad que espera la implementación de éstos respetando los procedimientos administrativos y legales, en aras de seguir contando con un entor-

no natural proveedor de suministros con alto valor estético. Esta pretensión se traduce en la búsqueda de mejores planes y oportunidades productivas de progreso, con la finalidad de encontrar las vías hacia un desarrollo humano sustentable, con el impulso de una gestión sostenida en el tiempo de los recursos naturales.

Así, la correcta elaboración de una EIA influye grandemente para que las autoridades competentes tracen y esbozen las autorizaciones respetando la dinámica natural, el estímulo del progreso y el beneficio socioeconómico derivado de la operación de las actividades productivas que connotan un naciente emprendimiento. De esta manera la EIA se



yergue como aquel procedimiento administrativo, legal y técnico que incentiva valores humanos: honradez, igualdad, inclusión e imparcialidad, principios que se pueden denominar éticos socioambientales. Finalmente, la EIA tiene el propósito de asegurar el cometido social, de salvaguardar el entorno natural con el objetivo de encaminarse al tan anhelado desarrollo sustentable, y que se plasme en un ambiente salubre, equilibrado, particularmente apto para el desenvolvimiento de las generaciones futuras.

REFERENCIAS

Astorga, Eduardo, Soto, Lorenzo, Iza, Abelardo. (2007). *Evaluación de impacto ambiental y diversidad biológica*, UICN.
 Barrow, C.J. (1999a). *Environmental management: principles and practice*, NY, Routledge.
 Barrow, C.J. (1999b). *Environmental management for sustainable development*, NY, Routledge.
 Cantú-Martínez, Pedro C. (2023). *Manual de evaluación de impacto ambiental*, México, Universidad Autónoma de Nuevo León.



Cantú-Martínez, Pedro C. (2025). Comunicación y evaluación de impacto ambiental: un enfoque integral del ambiente y la salud, en: Pedro C. Cantú-Martínez (Ed.). *Comunicación y promoción de la salud y ambiente* (pp. 19-32), México, Universidad Autónoma de Nuevo León.
 Conesa, Vicente. (2009). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*, Ed. Mundi-Prensa.
 Franco, Jonathan. (2015). *Evaluación del impacto ambiental*, Ed. Trillas.
 Garmendia, Alfonso, Salvador, Adela, Crespo, Cristina. (2005). *Evaluación de impacto ambiental*. España, Pearson Educación, S.A.
 Gómez de Balugera, Zuriñe, Encinas, María D., Gallastegui, Gorka J. (2018). *Gestión y evaluación de impacto ambiental*, Ed. Universidad del País Vasco.
 Gómez, Domingo, Gómez, M.T. (2013). *Evaluación de impacto ambiental*, Ed. Mundi-Prensa.
 Mora-Barrantes, José, Molina-León, Oscar, Sibaja-Brenes, José. (2016). *Aplicación de un método para evaluar el impacto ambiental de proyectos de cons-*

trucción de edificaciones universitarias, Tecnología en Marcha, 29, (3), 132-145.
 Naciones Unidas. (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*, <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>
 Pardo, Mercedes. (2002). *La evaluación del impacto ambiental y social para el siglo XXI, teoría, procesos, metodología*, Ed. Fundamentos.
 Perevochtchikova, María. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales, *Gestión y Política Pública*, 22(2), 283-312.
 Toro-Calderón, Javier, Martínez-Prada, Renson, Arrieta-Loyo, Gabriela. (2013). Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia, *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(2), 43-53, <https://doi.org/10.22490/21456453.990>
 Trejo, Luis A. (2021). *Evaluación de impacto ambiental: enfoque gerencial del desarrollo sostenible*, Ecoe Ediciones.
 Wood, Chris. (2003). *Environmental impact assessment: a comparative review*, NY. Routledge.

Descarga aquí nuestra versión digital.



COLABORADORES

Brenda Nelly López Hernández

Doctoranda en Ciencias, con Orientación en Procesos Sustentables, en la UANL. Miembro del Grupo de Ingeniería y Bioprocesos Sustentables. Su área de investigación se centra en el desarrollo de procesos sustentables, bajo un enfoque de economía circular, para la valorización de residuos orgánicos en esquemas de biorrefinería que incluyan la extracción de biocompuestos y producción de biocombustibles, así como la evaluación de impactos ambientales.

Carlos Escamilla Alvarado

Profesor-investigador en la FCQ-UANL. Investiga biorrefinerías, producción de biocombustibles, bioprocesos y análisis de ciclo de vida. Imparte cursos en licenciatura y posgrado en las áreas de termodinámica, biotecnología, petróleo y petroquímica, ambiente y sostenibilidad. Miembro del SNII, nivel I.

Carlos Iván Pérez Rostro

Doctor en Ciencias en Recursos Naturales y profesor-investigador titular “C” en el TecNM, campus Boca del Río. Coordina la Maestría en Ciencias en Acuicultura. Su línea de investigación se centra en la genética, fisiología y producción de organismos acuáticos bajo esquemas sostenibles como la acuicultura multitrófica integrada, sistemas biofloc y acuaponía. Miembro del SNII, nivel I.

Enrique Contreras Vázquez

Ingeniero químico. Maestro en Ciencias, con orientación en Procesos Sustentables por la UANL. Su trabajo de investigación se ha enfocado en procesos de producción de biocombustibles a partir de procesos de revalorización de residuos evaluando su impacto ambiental mediante análisis de ciclo de vida.

Erik Yoel Carreto Morales

Licenciado en Geología. Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Ecología. Cursa el Doctorado en Ciencias Ambientales en la UAGro. Su línea de estudio consiste en evaluar el potencial de los lodos residuales como enmienda orgánica para un suelo agrícola donde se cultiva maíz.

Gerardo Antonio Flores Escamilla

Doctor en Ciencias en Ingeniería Química por el Instituto Tecnológico de Celaya. Profesor-investigador en la FCQ-UANL. Su área de investigación es catálisis heterogénea, incluyendo la síntesis y caracterización de nanomateriales con aplicaciones en reacciones de valorización de CO₂, producción de compuestos de alto valor y tratamiento de contaminantes gaseosos. Miembro del SNII, nivel I.

Giovanni Hernández Flores

Doctor en Ciencias en Biotecnología Ambiental, Investigador por México de la Secihti, comisionado a la UAGro. Su investigación principal se centra en la utilización de dispositivos bioelectroquímicos para dar tratamiento al agua residual municipal y al drenaje ácido de mina, así como en la caracterización de lodos residuales generados por una planta de tratamiento de agua residual municipal y recuperación de agua a partir de fuentes no convencionales. Miembro del SNII, nivel I.

Jannette Bahena Ramírez

Licenciada en Geología. Maestra en Gestión para el Desarrollo Sustentable. Cursa el Doctorado en Ciencias Ambientales en la UAGro. Su investigación se centra en generar un modelo integral de un sistema de captación de agua de lluvia comunitario como fuente de abastecimiento para uso y consumo humano en una comunidad rural.

José de los Santos López Lázaro

Ingeniero químico por la UJAT. Maestro en Ciencias en Ingeniería Química y doctor en Ingeniería Química por el Instituto Tecnológico de Celaya. Su trabajo de investigación se ha enfocado en la medición y análisis de propiedades termodinámicas, así como en procesos de extracción sólido-líquido, incluyendo la extracción con dióxido de carbono supercrítico, aplicada tanto a la obtención de aceites esenciales como a la remediación de suelos contaminados. Miembro del SNII, nivel I.

José J. Cano Gómez

Profesor de tiempo completo en la FCQ-UANL. Sus líneas de investigación versan sobre la valorización de residuos para la producción de biocombustibles incorporando solventes eutécticos profundos. Estudia el efecto de aditivos sobre las propiedades fisicoquímicas de los combustibles. Miembro del SNII, nivel I.

Luis Alfredo Ortega Clemente

Ingeniero bioquímico, maestro y doctor en Ciencias, con especialidad en Biotecnología y Bioingeniería. Profesor-investigador del TecNM campus Boca del Río. Jefe del Laboratorio de Biotecnología de Microalgas y Bioenergías de los programas de Maestría y Doctorado en Ciencias en Acuicultura. Sus investigaciones se orientan al cultivo de microalgas en efluentes residuales acuícolas con potencial en la producción de biocombustibles. Cuenta con perfil deseable Prodep. Miembro de SNII, nivel I.

Magín Lapuerta Amigo

Catedrático de la Universidad de Castilla-La Mancha, España. Ha dirigido el Grupo de Combustibles y Motores desde 1996, cuyas líneas de investigación se centran en la combustión y emisiones diésel, con especial atención al efecto del uso de combustibles residuales y renovables de diferentes materias primas en las emisiones de gases y partículas de los motores. Premio del gobierno de Castilla-La Mancha a la Innovación Tecnológica. Miembro del Comité Científico Español de Normalización en Combustibles y Lubricantes (UNE) y del Comité de Biocombustibles de la Asociación Española de Productores de Energías Renovables (APPA).

María Guadalupe Paredes Figueroa

Profesora-investigadora de la UdeM. Se ha enfocado en el desarrollo de proyectos sustentables, relacionados a cambio climático, emisiones de gases de efecto invernadero, análisis de ciclo de vida y sostenibilidad. Directora de la División Técnica de Análisis de Ciclo de Vida de la Asociación Mexicana de Ingeniería, Ciencia y Gestión Ambiental, A.C. (AMICA). Miembro del SNII, nivel I.

María Josefa Santos Corral

Doctora en antropología social. Su área de especialidad se relaciona con los problemas sociales de transferencia de conocimientos, dentro de las líneas de tecnología y cultura y estudios sociales de la innovación. Ha trabajado con distintos colectivos que van de las grandes empre-

sas mexicanas a las pequeñas producciones agrícolas, pasando por las bibliotecas y los pequeños negocios de migrantes mexicanos en Estados Unidos. Imparte las asignaturas de Ciencia y Tecnología para las RI en la licenciatura de Relaciones Internacionales y Desarrollo Científico Tecnológico y su Impacto Social en la Maestría de Comunicación.

Martha Patricia Hernández Vergara

Doctora en Ciencias, con especialidad en Nutrición Acuícola, por el Cinvestav-IPN (Unidad Mérida). Profesora-investigadora titular C en el TecNM, campus Boca del Río. Su línea de investigación se centra en la nutrición y fisiología de crustáceos, uso de proteínas alternas y desarrollo de biotecnología para el cultivo de especies nativas. Coordina el Laboratorio de Cultivo de Crustáceos Nativos. Es integrante de redes como Alcarcinus, WAS y BioRed-Conacyt, y asesora en la AVAC A.C. Miembro del SNII, nivel I.

Pedro César Cantú Martínez

Doctor en ciencias biológicas. Doctor Honoris Causa, con la Mención Dorada Magisterial, por el OIICE, y en Bioética, por la UANL. Trabaja en la FCB-UANL y participa en el Iinso-UANL. Su área de interés profesional se refiere a aspectos sobre la calidad de vida e indicadores de sustentabilidad ambiental. Fundador de la revista *Salud Pública y Nutrición (RESPyM)*. Miembro del Comité Editorial de Artemisa del Centro de Información para Decisiones en Salud Pública de México

Perla Xóchitl Sotelo Navarro

Licenciada en Ingeniería Ambiental, maestra y doctora en Ciencias e Ingeniería Ambiental por la UAM Azcapotzalco. Coordinadora de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental en la UAM Azcapotzalco. Tiene amplia experiencia en temáticas como microbiología ambiental, gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos, lixiviación de residuos electrónicos, digestión anaerobia, fermentación oscura y composteo, incursionando en temas de análisis de ciclo de vida, economía circular y sostenibilidad aplicados a tratamiento de residuos orgánicos y procesos de biorrefinería. Miembro del SNII, nivel I.

Zeferino Simón Galarza Brito

Ecólogo de formación, maestro en Ciencias en Biología Celular y Molecular. Profesor de la carrera de Ingeniería Ambiental y Sustentabilidad en la UPEG.

Lineamientos de colaboración

Ciencia UANL

La revista *Ciencia UANL* tiene como propósito difundir y divulgar la producción científica, tecnológica y de conocimiento en los ámbitos académico, científico, tecnológico, social y empresarial.

En sus páginas se presentan avances de investigación científica, desarrollo tecnológico y artículos de divulgación en cualquiera de las siguientes áreas:

- ciencias exactas
- ciencias de la salud
- ciencias agropecuarias
- ciencias naturales
- humanidades
- ciencias sociales
- ingeniería y tecnología
- ciencias de la tierra

Asimismo, se incluyen artículos de difusión sobre temas diversos que van de las ciencias naturales y exactas a las ciencias sociales y las humanidades.

Las colaboraciones deberán estar escritas en un lenguaje **claro, didáctico y accesible**, correspondiente al público objetivo; no se aceptarán trabajos que no cumplan con los criterios y lineamientos indicados, según sea el caso se deben seguir los siguientes criterios editoriales.

Criterios generales

- Sólo se aceptan artículos originales, entendiendo por ello que el contenido sea producto del trabajo directo y que una versión similar no haya sido publicada o enviada a otras revistas.
- Se aceptarán artículos con un máximo de cinco autores (tres para los artículos de divulgación), en caso de excederse se analizará si corresponde con el esfuerzo detectado en la investigación. Una vez entregado el trabajo, no se aceptarán cambios en el orden y la cantidad de los autores.
- Los originales deberán tener una extensión máxima de cinco páginas, incluyendo tablas, figuras y referencias. En casos excepcionales, se podrá concertar con el editor responsable una extensión superior, la cual será sometida a la aprobación del Consejo Editorial.
- Para su consideración editorial, el autor deberá enviar el artículo vía electrónica en formato .doc de Word, así como el material gráfico (máximo cinco figuras, incluyendo tablas), fichas biográficas de máximo 100 palabras y código identificador ORCID de cada autor, ficha de datos y carta firmada por todos los autores (ambos formatos en página web) que certifique la originalidad del artículo y cedan derechos de autor a favor de la UANL.
- Material gráfico incluye figuras, dibujos, fotografías, imágenes digitales y tablas, de al menos 300 DPI en formato .jpg o .png y deberán incluir derechos de autor, permiso de uso o referencia. Las tablas deberán estar en formato editable.

- El artículo deberá contener claramente los siguientes datos: título del trabajo, autor(es), código identificador ORCID, institución y departamento de adscripción laboral (en el caso de estudiantes sin adscripción laboral, referir la institución donde realizan sus estudios) y dirección de correo electrónico para contacto de cada investigador.
- Las referencias no deben extenderse innecesariamente, por lo que sólo se incluirán las referencias utilizadas en el texto; éstas deberán citarse en formato APA, incluyendo nombre y apellidos de la autoría.
- Se incluirá un resumen en inglés y español, no mayor de 100 palabras, además de cinco ideas y cinco palabras clave.
- Los autores deberán revelar el uso de contenidos generados por IA y herramientas asistidas por IA en su proceso de escritura.

Criterios específicos para artículos académicos

- El artículo deberá ofrecer una panorámica clara del campo temático.
- Deberá considerarse la experiencia nacional y local, si la hubiera.
- No se aceptan reportes de mediciones. Los artículos deberán contener la presentación de resultados de medición y su comparación, también deberán presentar un análisis detallado de los mismos, un desarrollo metodológico original, una manipulación nueva de la materia o ser de gran impacto y novedad social.
- Sólo se aceptarán modelos matemáticos si son validados experimentalmente por el autor.
- No se aceptarán trabajos basados en encuestas de opinión o entrevistas, a menos que auna- das a ellas se realicen mediciones y se efectúe un análisis de correlación para su validación.

Criterios específicos para artículos de divulgación

- Los contenidos científicos y técnicos tendrán que ser conceptualmente correctos y presen- tados de una manera original y creativa.
- Todos los trabajos deberán ser de carácter académico. Se debe buscar que tengan un interés que rebase los límites de una institución o programa particular.
- Tendrán siempre preferencia los artículos que versen sobre temas relacionados con el objetivo, cobertura temática o lectores a los que se dirige la revista.
- Para su mejor manejo y lectura, cada artículo debe incluir una introducción al tema, poste- riormente desarrollarlo y finalmente plantear conclusiones. El formato no maneja notas a pie de página.
- En el caso de una reseña para nuestra sección *Al pie de la letra*, la extensión máxima será de dos cuartillas, deberá incluir la ficha bibliográfica completa, una imagen de la portada del libro, por la naturaleza de la sección no se aceptan referencias.



Notas importantes

- Sólo se recibirán artículos por convocatoria, para mayor información al respecto consultar nuestras redes sociales o nuestra página web: <http://cienciauanl.uanl.mx/>
- Los autores deberán declarar que en el proceso de elaboración de la investigación o redacción del documento no hubo conflictos de intereses; en caso de haberse presentado, deberán indicar los acuerdos que efectuaron. Asimismo, de haber contado con financiamiento, deberán anotar la institución o el nombre del fondo de dónde provino.
- Todas las colaboraciones, sin excepción, deberán pasar por una revisión preliminar, en la cual se establecerá si éstas cumplen con los requisitos mínimos de publicación que solicita la revista, como temática, extensión, originalidad y estructuras. Los editores no se obligan a publicar los artículos sólo por recibirlos.
- Todos los números se publican por tema, en caso de que un artículo sea aceptado en el dictamen, pero no entre en la publicación del siguiente número, éste quedará en espera para el número más próximo con la misma temática.
- Una vez aprobados los trabajos, los autores aceptan la corrección de textos y la revisión de estilo para mantener criterios de uniformidad de la revista.
- Todos los artículos de difusión recibidos **serán sujetos al proceso de revisión *peer review* o revisión por pares**, del tipo **doble ciego**; los documentos se envían sin autoría a quienes evalúan, con el fin de buscar objetividad en el análisis; asimismo, las personas autoras desconocen el nombre de sus evaluadores.
- Bajo ningún motivo serán aceptados aquellos documentos donde pueda ser demostrada la existencia de transcripción textual, sin el debido crédito, de otra obra, acción denominada como plagio. Si el punto anterior es confirmado, el documento será rechazado inmediatamente.

Todos los artículos deberán subirse en la página:
<https://cienciauanl.uanl.mx/ojs/index.php/revista/index>

Para cualquier comentario o duda estamos a disposición de los interesados en:
Tel: (5281)8329-4236. <http://www.cienciauanl.uanl.mx/>

o bien en la siguiente dirección:
revista.ciencia@uanl.mx

¡SÍGUENOS EN NUESTRAS REDES SOCIALES!



Instagram: @revistaciencia_uanl



Facebook: RevistaCienciaUANL