



# CIENCIAUANL

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

marzo - abril 2025

Año 28, número 130



- Impacto ambiental de los cubrebocas
- Economía circular en la minería de cobre
- ¿Quién cuida a los animales de experimentación?
- La influenza después del COVID



Año 28,  
Número 130  
marzo - abril 2025



Una publicación bimestral de la Universidad Autónoma de Nuevo León

Dr. Santos Guzmán López  
Rector

Dr. Juan Paura García  
Secretario general

Dr. Juan Manuel Alcocer González  
Secretario de investigación científica y desarrollo tecnológico

Dr. Guillermo Elizondo Riojas  
Director Ciencia UANL

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: Ángel Ismael Contreras Siller  
Corrección: Luis Enrique Gómez Vanegas  
Portada: Francisco Barragán Codina  
Webmaster: Mayra Silva Almanza

CienciaUANL Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Año 28, N° 130, marzo-abril 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](mailto:revista.ciencia@uanl.mx). Editora responsable: Melissa del Carmen Martínez Torres. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2021-060322550000-102, ISSN impreso: 2007-1175, Licitud de Título y Contenido: 14914, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor; ISSN-E: en trámite. 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 marzo de 2025, tiraje: 1,400 ejemplares. Fecha de última modificación: 03 de marzo de 2025.

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.

Prohibida su reproducción total o parcial, en cualquier forma o medio, del contenido editorial de este número.

Publicación indexada a LATINDEX, CUIDEN, PERIÓDICA, Actualidad Iberoamericana, Biblat.

Impreso en México  
Todos los derechos reservados  
© Copyright 2025

## Ciencia UANL

### 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



**El impacto ambiental de los cubrebocas**  
Ana Laura Tecorralco-Bobadilla, Perla Xóchitl Sotelo-Navarro,  
Alethia Vázquez-Morillas

### 16 OPINIÓN



**¿Quién cuida a los animales de experimentación? Normativa y prácticas**  
Diana Caballero-Hernández, Alejandra Arreola-Triana

### 28 EJES



**El virus de la influenza y su resurgimiento después de la pandemia de COVID-19**  
Carolina Palestino-Frías, Brenda Leticia Escobedo-Guajardo

### 36 SECCIÓN ACADÉMICA

37

**Exploración de la economía circular en la minería de cobre con base en la biosíntesis de partículas a escala nanométrica de óxidos metálicos a partir de cuprita para la degradación de colorante azul de metileno por fotocatalisis**  
Nora Elizondo-Villarreal, María Aracelia Alcorta-García, Rosa María Estrada-Martínez

### 44 AL PIE DE LA LETRA



**Literatura para mirar la ciencia con ojos de Epimeteo**  
Melina Sarahid-García

### 56 CIENCIA DE FRONTERA



**Redes para apuntalar el sistema de innovación de Guanajuato: la trayectoria de Adriana Martínez Martínez**  
María Josefa Santos-Corral

### 66 SUSTENTABILIDAD



**Agua para lograr el desarrollo sustentable**  
Pedro César Cantú-Martínez

### 74 COLABORADORES

# La labor de en la ciencia en

# 130 EDITORIAL

Melissa del Carmen  
Martínez-Torres\*

**H**ace 10 años la ONU estableció el 11 de febrero como el Día de las Mujeres y las Niñas en la Ciencia, celebrándose por primera vez en 2016. Este hecho se da en un marco donde pareciera que hay un consenso internacional para lograr la equidad de género, es palpable que desde distintos espacios se realizan esfuerzos por mitigar la desigualdad predominante en todas las áreas, incluida la ciencia.

Desde la Universidad Autónoma de Nuevo León, la Dirección de Investigación realiza cada año un programa, Mujeres en la Ciencia, que invita a estudiantes de preparatoria a conocer y convivir con científicas, con la finalidad de motivarlas a continuar sus estudios universitarios; desmitificando la figura de la investigación, para mostrarla como una posibilidad real y tangible. Año con año recibimos un gran número de adolescentes en los laboratorios de las facultades de la UANL, donde conviven y reciben instrucciones de las especialistas responsables, entre su *kit* de bienvenida se les obsequia la revista *CienciaUANL*.

A partir de 2022 creamos la sección digital Mujeres en ciencia, con presencia en nuestras redes sociales, Facebook e Instagram, en la que cada viernes damos a conocer la vida y obra de científicas destacadas; frente al oscurantismo en el que trabajaron en el pasado, pretendemos dar reconocimiento y validez, y con ello motivar a las nuevas generaciones.

Uno de los avances más importantes ha sido el aumento de la representación femenina en áreas de STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas). Según datos de la UNESCO (2021), el 33% de los investigadores en el mundo son mujeres. Sin embargo, esta cifra varía según la región y el campo de estudio, por ejemplo, en disciplinas como la informática y la inteligencia artificial, la proporción de mujeres sigue siendo baja en comparación con otras áreas científicas.

Las mujeres en la ciencia aún enfrentamos obstáculos: brecha salarial, falta de representación en puestos de liderazgo y sesgo en la edición de trabajos. Un estudio de Huang *et al.* (2020) encontró que las mujeres investigadoras publican artículos en menor cantidad que sus co-

# las mujeres los últimos años

legas masculinos y reciben baja citación en sus trabajos, lo que afecta su visibilidad y avance en la carrera científica.

La política internacional actual nos obliga a recordar que ningún espacio y ningún derecho ganado es para siempre, es imprescindible que refrendemos desde nuestra trinchera el compromiso con la equidad en la ciencia, no sólo por un tema de justicia social, sino porque estamos seguras de que ésta debe contener la pluralidad de todas las voces. Es fundamental seguir promoviendo iniciativas que fomenten la participación femenina, el reconocimiento de su trabajo y la eliminación de sesgos de género en la investigación y el desarrollo científico.

En el marco del Día Internacional de las Mujeres, celebrado el 8 de marzo, en *CienciaUANL* estamos felices de tener, por quinto año consecutivo, un número dedicado a la investigación que realizan las mujeres mexicanas y latinoamericanas.

Aquí está nuestro granito de arena.

[Descarga aquí nuestra versión digital.](#)



\* Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México.  
Contacto: melissamartinez@uanl.mx

# El impacto ambiental de los cubres bocas

Ana Laura Tecorralco-Bobadilla\*  
ORCID: 0009-0009-2161-3870

Perla Xóchitl Sotelo-Navarro\*  
ORCID: 0000-0002-1179-4884

Alethia Vázquez-Morillas\*  
ORCID: 0000-0003-1986-0708

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.130-1>

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

## VIEJAS Y NUEVAS CONOCIDAS: LAS ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

 Faringitis, bronquitis, influenza, neumonía? Estas afecciones respiratorias nos acompañan en distintos momentos a lo largo de nuestra vida, y prácticamente toda la población ha tenido que lidiar con ellas. Sin embargo, en 2020, este panorama cambió con la llegada del SARS-CoV-2, el virus causante de la COVID-19, que desató una pandemia y un estado de emergencia que se extendió por más de tres años (Organización Mundial de la Salud, 2023).

En 2022, cuando la crisis había disminuido, las infecciones respiratorias agudas constituyeron la principal causa de enfermedad en México, contribuyendo con el 47% de todos los casos reportados; aunque las personas más vulnerables son los niños y los ancianos, afectan a toda la población, especialmente en la temporada invernal (Secretaría de Salud, 2023). Este tipo de enfermedades tienen origen tanto viral como bacteriano y, por lo tanto, su transmisión se da generalmente de persona a persona, a través de la saliva que se expulsa al toser o estornudar; también, aunque en menor medida, por contacto con superficies contaminadas. Ante esta situación, se ha propuesto un modelo de "protección en capas", a través de medidas que combina-



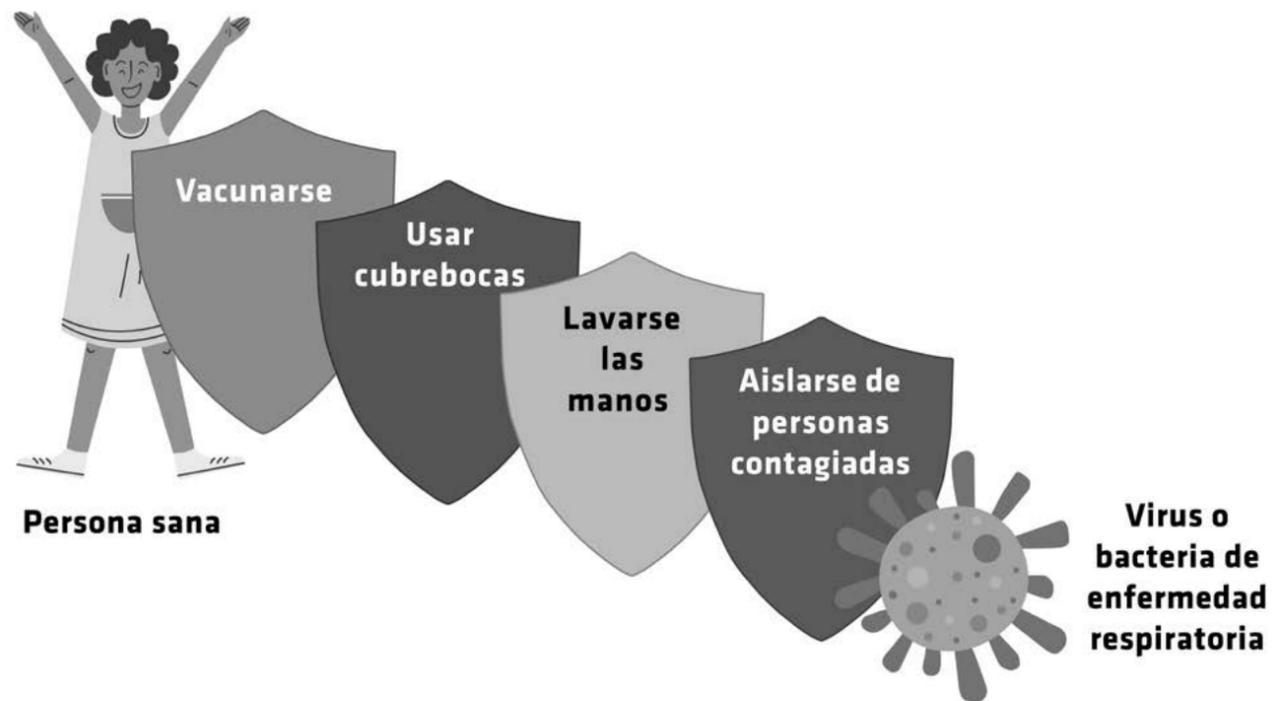


Figura 1. Protección en capas contra enfermedades respiratorias (adaptado de McCay, 2020).

das, pueden disminuir el riesgo de contagio (figura 1), adaptado de un modelo conocido como "el queso suizo", desarrollado originalmente para disminuir el riesgo de accidentes (McCay, 2020).

## BARRERAS FÍSICAS DE DEFENSA A NIVEL PERSONAL: LOS CUBREBOCAS

Entre las distintas líneas de defensa que podemos emplear para protegernos de las infecciones respiratorias están las barreras físicas que impiden el ingreso de los virus y bacterias a través de la nariz y la boca, conocidas comúnmente como cubrebocas. Estos equipos de protección, que se usaban ya antes de la pandemia, se volvieron un artículo cotidiano durante la misma. Se ha comprobado que contribuyen a disminuir los contagios de enfermedades respiratorias, especialmente si se combinan con medidas como el lavado de



manos (Baier *et al.*, 2022). Si bien al inicio de la pandemia su uso fue cuestionado, conforme se avanzó se volvió una práctica común, incluso como un requisito para ingresar a escuelas y otros espacios públicos.

Los cubrebocas son equipos de protección personal (EPP) que pueden ser de un solo uso o reutilizables; los desechables se fabrican con polipropileno, y los reutilizables con poliéster, nailon o algodón; en el caso de los primeros, tienen las características de ser termosellados, hidrofóbicos e impermeables (OMS, 2020). Además del o los materiales filtrantes, para su fabricación son necesarios otros elementos como cintas elásticas, filtros o cintas metálicas de ajuste para la nariz (CICEG, 2020).

## LA PROTECCIÓN DE LA SALUD TAMBIÉN IMPACTA EL AMBIENTE

Los cubrebocas, como todos los productos que usamos, disminuyen el riesgo de contagio, pero generan una huella ecológica. A menudo, el análisis de los mismos se enfoca únicamente en su disposición final, destacando problemas como acumulación, dispersión en el ambiente y afectaciones a especies.



Un análisis completo debe abarcar todas las etapas del ciclo de vida, pues los distintos tipos de cubrebocas impactan el ambiente también en la extracción de materia prima, manufactura, transporte, comercialización y uso, además de hacerlo en su fin de vida. Este tipo de análisis se basa en la construcción de inventarios de distintos impactos ambientales en cada una de dichas etapas, a partir de los cuales se cuantifican y comparan efectos como la contribución al cambio climático, el uso de suelo, la toxicidad al ser humano y otros seres vivos, y el daño a la capa de ozono, entre muchos otros. Es por ello que se utiliza el análisis de ciclo de vida (ACV), una herramienta clave para comprender y minimizar los efectos ambientales de un producto a lo largo de su existencia. El ACV evalúa cada etapa del ciclo de vida de un producto para identificar el consumo de recursos, la generación de residuos y las emisiones asociadas. Este enfoque permite detectar los puntos críticos donde se concentran los mayores efectos, facilitando la toma de decisiones informadas para diseñar procesos más sostenibles, optimizar el uso de materiales y energía y reducir la repercusión ambiental.

La tabla I describe algunos de los impactos generados por los cubrebocas desechables y reutilizables de tela, identificados a partir de distintas investigaciones realizadas en torno a los ciclos de vida.



**Tabla I. Impactos ambientales más relevantes de los cubrebocas (elaboración propia a partir de UNEP, 2022).**

Cubrebocas desechables fabricados de polipropileno	Cubrebocas reutilizables
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuyen al agotamiento de recursos naturales no renovables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si se fabrican de algodón, requieren un gran uso de agua, tierra y agroquímicos para su cultivo.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generan gases de efecto invernadero debido al uso de energía durante su producción y transporte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generan gases de efecto invernadero debido al uso de energía durante su producción, transporte y lavado.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generan mayores impactos en el fin de vida al producir más residuos debido a su cambio continuo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generan aguas residuales con detergentes debido a su lavado.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden producir enredamientos o ser ingeridos por la vida silvestre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si no se usan un número alto de veces (al menos 20) pueden tener impactos similares a los desechables.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden transportar compuestos químicos tóxicos o patógenos adheridos a su superficie.</li> </ul>	

Además de los impactos comunes mencionados, pueden existir otros derivados de condiciones específicas de producción, uso y fin de vida. La importación de materias primas, e incluso de los cubrebocas en sí, puede incrementar en gran medida la repercusión ambiental, así como el uso de bactericidas que generan efectos negativos en términos de toxicidad, o de empaques y embalajes individuales de cartón y plástico.

Durante el uso, especialmente en el caso de los cubrebocas reutilizables, el impacto dependerá en gran medida de las condiciones de lavado, pues los efectos serán mayores si se hace a mano o en una lavadora con carga intermedia que si se realiza a carga completa; también hay una diferenciación entre lavarlos a temperatura ambiente o con agua caliente (UNEP, 2022). Finalmente, la forma en que se manejan cuando se desechan tendrá también un efecto relevante, pues se generarán efectos diferentes si son incinerados, llevados a un vertedero con el resto de los residuos sólidos urbanos o si llegan al ambiente debido a un mal manejo.

## EN CONCLUSIÓN: ¿CÓMO DISMINUIR EL IMPACTO AMBIENTAL?

La protección a la salud es uno de los objetivos más importantes en la sociedad actual y debe promoverse a través de acciones generales y conductas individuales. Sin embargo, es crucial reconocer que, como todos los actos humanos, genera una consecuencia ambiental. El uso de los cubrebocas es un ejemplo claro: mientras que contribuyen a prevenir contagios de infecciones respiratorias, también afectan al ambiente a lo largo de todo su ciclo de vida.

Para minimizar estos efectos, es necesario priorizar el uso de distintos tipos de cubrebocas según el lugar y la exposición al riesgo: reutilizables de tela en contextos de bajo riesgo y desechables en situaciones de mayor exposición. Es importante evitar el reúso de cubrebocas desechables, seguir las recomendaciones sobre el número adecuado de lavados para los reutilizables, y manejar ambos tipos correctamente al desecharlos. La medición de la huella ambiental debe ir más allá de su disposición final, considerando la extracción de materias primas, producción, transporte, comercialización y uso. Realizar estas evaluaciones a nivel local permitiría tomar decisiones más informadas y desarrollar estrategias específicas para mitigar los impactos.

Conocer los estragos ambientales diferenciados de los cubrebocas no sólo fomenta un consumo responsable, también identifica áreas de mejora en sus procesos de producción y manejo, contribuyendo a un equilibrio entre la protección de la salud y la sostenibilidad.



## REFERENCIAS

- Baier, Marylyn, Knobloch, Mary J., Osman, Fauzia, *et al.* (2022). Effectiveness of mask-wearing on respiratory illness transmission in community settings: A rapid review, *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 17, E96, <https://doi.org/10.1017/dmp.2021.369>
- Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato. (2020). *Propuesta técnica: protocolo para la manufactura de cubrebocas*, <https://www.ciceg.org/pdf/ProtocoloCubre bocas.pdf>
- McCay, Ian M. (2020). *The Swiss cheese infographic that went viral*, <https://virologydownunder.com/the-swiss-cheese-infographic-that-went-viral/>
- Organización Mundial de la Salud. (2023). *Declaración acerca de la decimoquinta reunión de Comité de Emergencias del Reglamento Sanitario Internacional (2005) sobre la pandemia por coronavirus (COVID-19)*, [https://www.who.int/es/news/item/05-05-2023-statement-on-the-fifteenth-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-coronavirus-disease-\(covid-19\)-pandemic](https://www.who.int/es/news/item/05-05-2023-statement-on-the-fifteenth-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-coronavirus-disease-(covid-19)-pandemic)
- Organización Mundial de la Salud. (2020). *Recomendaciones sobre el uso de mascarillas en el contexto de la COVID-19*, [https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/332657/WHO-2019-nCov-IPC\\_Masks-2020.4-spa.pdf](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/332657/WHO-2019-nCov-IPC_Masks-2020.4-spa.pdf)
- Secretaría de Salud. (2023). *Anuario de morbilidad 1984-2022*, [https://epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/html/principales\\_nacional.html](https://epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/html/principales_nacional.html)
- United Nations Environment Programme. (2022). *Single-use face masks and their alternatives: Recommendations from life cycle assessments*, Nairobi.

Recibido: 04/12/2023  
Aceptado: 03/12/2024

Descarga aquí nuestra versión digital.





Opinión

# ¿Quién cuida a los animales de experimentación?

## Normativa y prácticas

Diana Caballero-Hernández\*

Alejandra Arreola-Triana\*

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.130-2>

**E**l avance de la ciencia se ha construido en gran parte gracias a los modelos animales. Desde hace más de dos mil años los hemos estudiado con el fin de conocer mejor la anatomía, fisiología y ontogenia. Hoy, nuestro conocimiento sobre enfermedades como el cáncer, el Alzheimer y la diabetes, además del papel de la microbiota, los efectos y seguridad de medicamentos y vacunas, se lo debemos a estos modelos experimentales.

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

Contacto: [diana.caballerohr@uanl.edu.mx](mailto:diana.caballerohr@uanl.edu.mx),  
[alejandra.arreolatr@uanl.edu.mx](mailto:alejandra.arreolatr@uanl.edu.mx)



Éstos incluyen invertebrados como el nemátodo *C. elegans*, y la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*, peces, anfibios y mamíferos: ratones, ratas, conejos y cerdos que utilizamos en el modelado de la fisiología humana en el laboratorio. Su utilidad radica en que nos permiten estudiar las interacciones entre órganos y sistemas o el comportamiento, cosa que los modelos *in vitro* e *in silico* aún no pueden replicar. Esto es necesario ya que, salvo contadas excepciones, como algunas pruebas conductuales o los ensayos clínicos fase IV, no es legal ni ético experimentar en seres humanos.

En Internet es fácil encontrar imágenes desgarradoras en laboratorios, retratando de forma amarillista e inexacta esta labor. Lo que muchos desconocen es que existen numerosos mecanismos pensados para proteger a los millones de animales utilizados en laboratorios de todo el mundo y así vigilar su uso ético y procurar su bienestar.

Uno de los principios fundamentales a seguir en el uso ético es el de las 3R: reemplazar, reducir y refinar. El propósito de éstos es eliminar el uso de animales, pero, si esto no es posible, entonces es necesario reducir el número utilizado, por lo que se tienen que refinar las formas de análisis, por ejemplo, usando metodologías mínimamente invasivas que reduzcan el sufrimiento y procuren el bienestar del animal.

Por bienestar nos referimos al estado físico y mental de los animales, y a la medida en la que pueden comportarse de acuerdo con su naturale-



za, aspectos que dependen en buena parte de las condiciones en las que viven. Una forma de guiarnos es siguiendo las llamadas "Cinco libertades del bienestar animal", directrices que fueron enunciadas en 1965 y son muy claras en cuanto a los aspectos que se deben vigilar si se quiere demostrar que están bien cuidados. En los laboratorios, y en cualquier lugar, estarán libres de hambre y sed, de incomodidad física o térmica; de dolor, lesiones o enfermedad; de temor o estrés, y deben poder expresar una conducta normal.

El éxito en lograr el bienestar depende de que los investigadores y las instituciones en las que trabajan cumplan con prácticas que aseguren estas libertades. Éstas se basan en el conocimiento científico de lo que es mejor para las especies, por ejemplo, ¿cuál es el espacio mínimo que requiere si se pretende que se mueva con comodidad?, ¿cuál es la composición adecuada del alimento?, ¿cuáles son las principales enfermedades que sufre?, y ¿cómo evitarlas o tratarlas? En su mayoría, estas prácticas son reguladas por diferentes leyes y normas, cuyo cumplimiento tiene que ser vigilado. Por esto, en México, las instituciones donde se realiza experimentación en animales deben conformar



un comité de cuidado que vigile que se cumpla la ley y normativa pertinente al bienestar de sujetos experimentales. Adicionalmente, las revistas especializadas y organizaciones que financian la investigación pueden actuar como un filtro que previene que el trabajo donde éstos no recibieron trato ético sea publicado, promoviendo la corrección de malas prácticas.

### **NORMATIVA SOBRE LA EXPERIMENTACIÓN ANIMAL**

En México existe una norma oficial (NOM) obligatoria en todo el país. La NOM-062-ZOO-1999, titulada *Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio*, fue creada con el propósito de establecer los requerimientos mínimos de protección en los recintos de este tipo en el país.

La NOM-062-ZOO-1999 describe la forma aceptable de cuidar de los animales experimentales de laboratorio, eso incluye las condiciones de alojamiento, la alimentación apropiada y, sobre todo, su manejo, especificando los métodos permisibles en caso de eutanasia. Hay cinco categorías protegidas por esta NOM: roedores, conejos, carnívoros, que incluye perros y gatos, primates no humanos (chimpancés) y los cerdos. Los roedores, principalmente ratones y ratas, son la categoría más empleada alrededor del mundo, incluido México, aunque también se utilizan hámsters, cuyos y gerbos. Como los roedores, particularmente los ratones, son utilizados por millones, la legislación está muy centrada en ellos.

La NOM-062-ZOO-1999 es un instrumento reglamentario específico de México; otros países tienen sus propios mecanismos de regulación en los laboratorios. Por ejemplo, la primera nación en adoptar normativa de protección

fue Gran Bretaña con su Ley Contra la Crueldad Animal (Cruelty to Animals Act, 1876). Casi un siglo después, en 1966, Estados Unidos publicó la Ley Federal Sobre el Bienestar Animal (The Animal Welfare Act); aunque ésta originalmente excluía a las ratas y ratones, en 1985 se añadió una enmienda que mejoró las condiciones de éstos. Por su parte, España cuenta con el Real Decreto 53/2013, que establece las normas básicas aplicables para la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines, incluyendo la docencia. Y como el conocimiento avanza más rápido que las leyes (de hecho, la NOM-062-ZOO-1999 no se ha actualizado desde su promulgación), es responsabilidad de los científicos e instituciones mantenerse actualizados y poner en práctica la regulación emergente que otorga estatus moral a nuevas especies, así sucedió con los chimpancés y más recientemente con los pulpos. No obstante, contar con estas guías y normativas no es suficiente, también se requiere vigilar su cumplimiento. Para ello es necesario constituir comités al interior de las instituciones.

## LOS COMITÉS DE CUIDADO ANIMAL

Un comité de cuidado animal es un instrumento institucional que vigila el cumplimiento de la ley, la norma oficial, códigos internos y guías internacionales respecto al uso de estos seres en el laboratorio. La constitución de un comité interno para el cuidado y uso de los animales de laboratorio (CICUAL) en las instituciones donde se lleva a cabo experimentación con ellos está dictada en la NOM-062-ZOO-1999. Éste tiene que estar conformado por, al menos, un veterinario, investigadores con experiencia y otros miembros según las necesidades de la institución.

La función principal del CICUAL es evaluar los proyectos que involucren el uso de animales experimentales; los integrantes deben determinar si la propuesta de los especialistas tiene el sustento que justifique su uso, sugerir alternativas, revisar que los métodos y el número de ejemplares sean adecuados a la proposición, y que el cuidado, manejo y procedimiento de muerte son los más apropiados para la especie propuesta. ¿Qué significa apropiado? Que el animal no se estrese, angustie o sufra dolor físico. Es decir, el comité evalúa si una propuesta científica cumple con los principios de las 3R y las cinco libertades, además de la legislación y normativa vigente.

## ALIADOS EN EL CUIDADO DE LOS ANIMALES EXPERIMENTALES

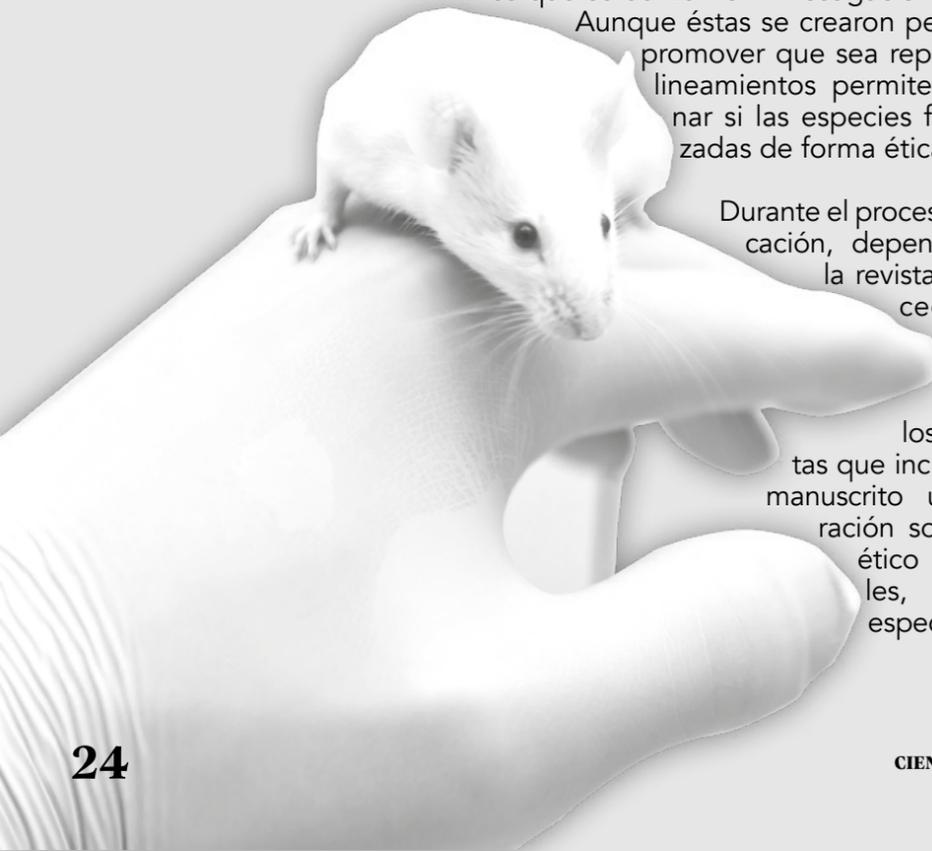
Existen otros mecanismos que contribuyen a promover que los expertos realmente cumplan con lo dictado por la ley y normativas: las revistas científicas y los organismos que otorgan fondos de ayuda a la investigación. En el primer caso, las publicaciones indexadas internacionales, y también a nivel nacional, han incorporado en sus procesos el uso de las guías PREPARE (Planning Research and Experimental Procedures on Animals: Recommendations for Excellence) y ARRIVE (Animal Research: Reporting of *in vivo* Experiments), una serie de directrices enfocadas a planear y reportar correctamente el trabajo de experimentación. En 2024 se publicaron las guías OBSERVE (Oncology Best-practices: Signs, Endpoints and Refinements for *in vivo* Experiments), que detallan indicaciones de cuidado adecuado de los ratones que se utilizan en investigación en cáncer.

Aunque éstas se crearon pensando en promover que sea replicable, sus lineamientos permiten determinar si las especies fueron utilizadas de forma ética.

Durante el proceso de publicación, dependiendo de la revista y sus procedimientos, puede ser que se les solicite a los especialistas que incluyan en su manuscrito una declaración sobre el uso ético de animales, donde se especifique que

se cumplió con los lineamientos de bienestar, o puede ser que se les solicite el dictamen del comité de cuidado que evaluó la propuesta. En algunos casos, como cuando se trata de investigación en cáncer, la revista puede ser más exigente y pedir incluso fotografías del estado físico de los ejemplares y del tamaño de los tumores con el fin de asegurarse que realmente cumplió con los lineamientos éticos. Si no se es capaz de proporcionar la evidencia solicitada, su artículo ni siquiera será considerado en la fase de evaluación.

Dado que, para los científicos, las publicaciones son el producto más importante de su labor, el no difundir su trabajo al no demostrar que manipuló éticamente a los sujetos experimentales, es un poderoso incentivo que busca modifi-



car su trato hacia éstos. En Estados Unidos, los Institutos Nacionales de Salud (NIH), la principal entidad que financia investigación científica, solicita que se declare el uso de animales en la propuesta, así como su evaluación por el comité correspondiente. En Europa, el acceso a los recursos para trabajar con seres vivos depende de demostrar que su uso está justificado y que cumple con los lineamientos éticos. En México aún hay camino por recorrer en este sentido. Es decir, el sistema y los investigadores aún podemos pulir y con ello mejorar la vida de los animales de experimentación.

### PERSPECTIVAS

Los investigadores enfrentamos un creciente escrutinio sobre el uso de animales en la ciencia, lo que nos obliga a justificar su empleo y a buscar alternativas más éticas y eficientes. La sociedad demanda modelos de estudio que reduzcan o eliminen la experimentación animal, y aunque la tecnología avanza en ese sentido, aún no existen sustitutos completamente funcionales para muchas áreas de investigación biomédica. Mientras esa transición se materializa, nuestro compromiso ineludible es garantizar el bienestar de los animales de laboratorio mediante prácticas éticas, metodologías refinadas y el cumplimiento riguroso de normativas que aseguren su cuidado y dignidad.



### REFERENCIAS

- De Vleeschauwer, Stéphanie I., Marieke van de Ven, *et al.* (2024). OBSERVE: guidelines for the refinement of rodent cancer models, *Nature Protocols*, 19(9), 2571-2596.
- Frías-Álvarez, Patricia, Ortiz-Millán, Gustavo. (2024). The numbers of animals used in México for scientific and educational purposes, *Alternatives to Laboratory Animals*, 52(1), 28-41.
- Mosterín, Jesús. (2015). Dilemas éticos en la experimentación animal, *Gaceta Conbioética*, 4(16), 5-9.
- Song, Junmin, Solmi, Marco, Carvalho, Andre F., *et al.* (2024). Twelve years after the ARRIVE guidelines: Animal research has not yet arrived at high standards, *Laboratory Animals*, 58(2), 109-115.
- Workman, P., Aboagye, E.O., Balkwill, F., *et al.* (2010). Guidelines for the welfare and use of animals in cancer research, *British Journal of Cancer*, 102(11), 1555-1577.

**Recibido: 05/11/2024**  
**Aceptado: 11/02/2025**

Descarga aquí nuestra versión digital.





Ejes

# El virus de la influenza

## y su resurgimiento después de la pandemia de COVID-19

Carolina Palestino-Frías\*  
ORCID 0009-0001-1215-6868

Brenda Leticia Escobedo-Guajardo\*\*  
ORCID 0000-0002-9184-0296

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.130-3>

### ¿QUÉ ES LA INFLUENZA?

Es una enfermedad respiratoria, ocasionada por el virus de la influenza, que afecta principalmente las vías respiratorias, desde la nariz y garganta, hasta los bronquios y bronquiolos cuando se complica o agrava (Arias y López, 2009). Ha afectado a la población humana desde tiempos muy antiguos, causando diferentes pandemias a lo largo de la historia. La primera se remonta a 1918, conocida como la gripe española con más de 50 millones de muertes. Posteriormente se reportaron otras en 1957, 1968, 1977 y la más reciente, en el siglo actual, ocurrida en 2009 (Toro y Aguirre, 2009).

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

Contacto: caropalestinof@gmail.com

\*\* Instituto Mexicano del Seguro Social, Monterrey, México.

Contacto: brenda.escobedo@imss.gob.mx

Existen cuatro variantes del virus de la influenza, denominados A, B, C y D (OMS, 2014). De éstos, solo el A y el B son causantes de epidemias estacionales en humanos. El virus de la influenza A se clasifica en subtipos según dos proteínas importantes, la neuraminidasa y la hemaglutinina. Hasta el momento se han descubierto 18 subtipos de hemaglutinina y 11 de neuraminidasa. Ambas son proteínas que recubren al virus y tienen funciones importantes para la infección viral (Lampejo, 2020). El virus de la influenza B se clasifica en linajes: el Yamagata y el Victoria (Caini *et al.*, 2019).

En la pandemia que tuvo origen en México en 2009, la cepa circulante fue del tipo A subtipo H1N1, que surgió de una combinación entre virus de la influenza A de distintos orígenes (Harrington *et al.*, 2021). Al final de la pandemia, en 2010, la Organización Mundial de la Salud (OMS) reportó un total de 18,500 muertes, sin embargo, hasta la fecha, este subtipo de virus circula entre la población, además del virus H3N2 y el de influenza B (OMS, 2009).

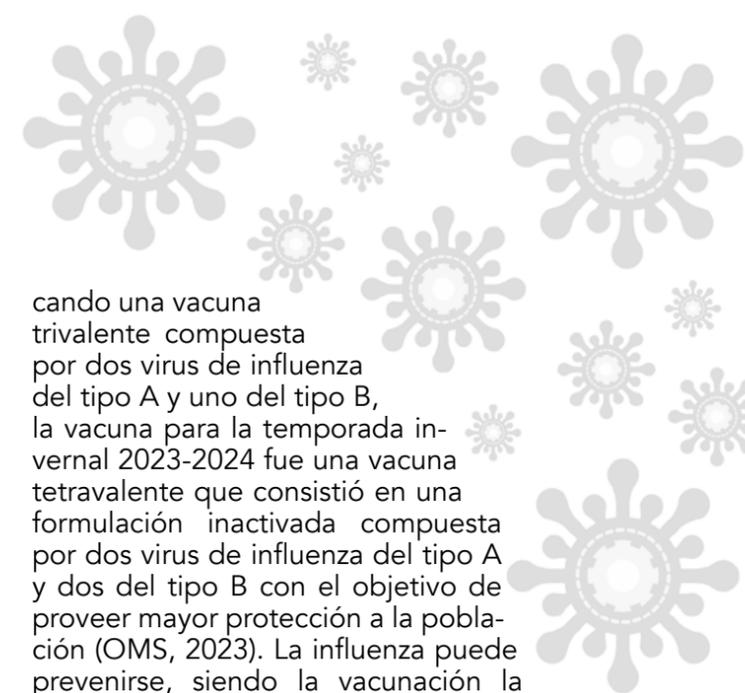
Los síntomas que caracterizan este padecimiento son fiebre alta mayor a 38°C, dolor de garganta, de cabeza, muscular, náuseas y vómito (Acosta *et al.*, 2009). Al presentarse éstos, se debe realizar una prueba diagnóstica mediante pruebas rápidas para detección de antígeno, o mediante pruebas molecu-



lares como la PCR, siendo esta última la de mayor capacidad para detectar el virus. El diagnóstico es una parte importante para el tratamiento adecuado y para la vigilancia epidemiológica que permite la implementación de estrategias de control en caso de pandemia (Toro y Aguirre, 2009).

## ¿CÓMO PUEDO CUIDARME SI ME ENFERMO DE INFLUENZA?

Si te han diagnosticado con influenza, existe tratamiento para casos de enfermedad grave. Actualmente se dispone de tres tipos de fármacos, cada uno con diferente mecanismo de acción (Lampejo, 2020). La rimantadina y amantadina fueron los primeros en ser utilizados, sin embargo, su acción contra los virus circulantes actuales prácticamente es nula. Por otro lado, están los inhibidores de neuraminidasa como el zanamivir y oseltamivir, siendo este último el más recomendado (Instituto Mexicano del Seguro Social, 2009); y finalmente tenemos al más recientemente desarrollado, el baloxavir marboxil (Lampejo, 2020), el cual ya también se encuentra disponible en México.



cando una vacuna trivalente compuesta por dos virus de influenza del tipo A y uno del tipo B, la vacuna para la temporada invernal 2023-2024 fue una vacuna tetravalente que consistió en una formulación inactivada compuesta por dos virus de influenza del tipo A y dos del tipo B con el objetivo de proveer mayor protección a la población (OMS, 2023). La influenza puede prevenirse, siendo la vacunación la herramienta más importante para que la población tenga una protección ante este virus, por lo que la vigilancia de los cambios y adaptación del virus se realiza de manera constante en todo el mundo. En México, el organismo encargado de esta vigilancia es el Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos (INDRE), aunque la participación de los laboratorios de Apoyo a la Vigilancia Epidemiológica y centros de investigación también es importante (Dirección General de Epidemiología, 2023).

De manera similar a lo que ocurre con el uso desmedido de antibióticos, la utilización de antivirales sin indicación médica puede conducir al fenómeno de farmacoresistencia (Gillman *et al.*, 2015). Los virus de la influenza, al igual que el causante de la COVID-19, cuando se multiplican generan copias de ellos mismos, algunas veces con pequeños cambios que pueden afectar regiones del virus a donde se unían los fármacos antivirales, volviéndolos ineficaces para combatir la infección (Lampejo, 2020). Este fenómeno es un evento que se ha reportado para los adamantanos, el oseltamivir y más recientemente con el baloxavir marboxil (Hickerson *et al.*, 2023).

## ¿CÓMO PUEDO PREVENIR LA INFLUENZA?

La vacunación es la manera más eficaz de prevenir una infección por influenza, además de que disminuye el riesgo de desarrollar una enfermedad grave. El mantenerse con una vacunación actualizada anualmente para este virus permite a la población tener un grado de protección vigente, ya que mientras mayor sea la coincidencia de la composición de la vacuna y las cepas circulantes, mayor será la eficacia de la vacunación. Mientras que en la temporada invernal 2022-2023 se estuvo apli-



## ¿QUÉ ES LO QUE HACE QUE EL VIRUS DE LA INFLUENZA PROVOQUE PANDEMIAS?

Desde la última pandemia de 2009, la cepa del virus usada en la vacuna para el subtipo H1N1 fue la denominada A/California/7/2009(H1N1)pdm09. Sin embargo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomendó que, para la vacuna contra influenza pandémica, para el hemisferio norte temporada 2017-2018, ésta se cambiara a la nueva cepa denominada A/Michigan/45/2015 (H1N1)pdm09 (OMS, 2015), debido a que posee una mayor similitud a los virus circulantes (Harrington, 2021; OMS, 2010). Desde entonces, la cepa del virus de la influenza es usada en la vacuna se ha cambiado cada uno o dos años, reflejando su alta variabilidad (OMS, 2023).

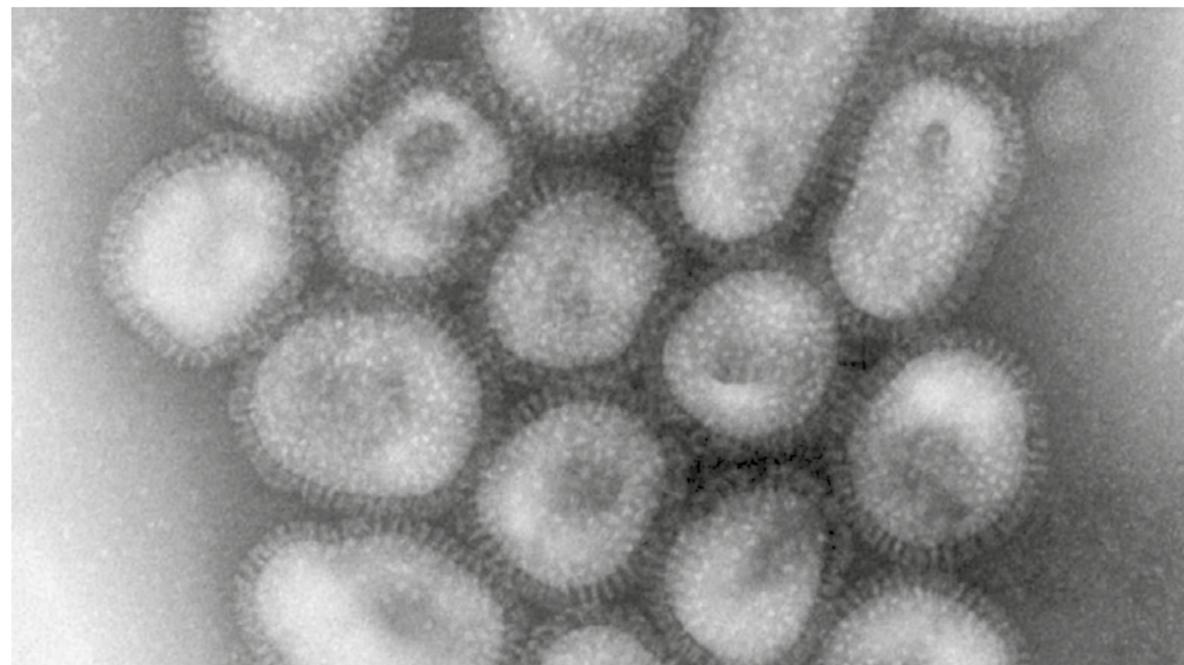
La variabilidad del virus de la influenza se puede producir por dos mecanismos previamente descritos, uno de ellos es la deriva antigénica, que resulta de modificaciones graduales en el material genético, con variaciones menores en sitios de reconocimiento del virus. El segundo mecanismo es el cambio antigénico, el cual ocurre debido a una combinación de material genético entre dos o más subtipos y que resulta en un virus totalmente diferente, capaz de diseminarse rápidamente y causar brotes, epidemias y pandemias (Tewawong *et al.*, 2015).

Antes de la pandemia por SARS-CoV-2, en México se presentó una estimación de 7,455 casos de influenza en todo el país en la temporada 2018-2019 (Dirección General de Epidemiología, 2019). Los estados con mayor número de casos fueron Ciudad de México, Yucatán y Estado de México, donde las cepas circulantes reportadas eran tipo A(H3N2) y A(H1N1)pdm09. Posterior a la pandemia ocasionada por COVID-19, a nivel mundial la OMS reporta que se producen aproximadamente mil millones de casos

**Tabla I. Casos y defunciones positivas por influenza (2019-2024).**

Evento	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	2023-2024
Casos	6204	7	3179	10,085	12.133
Defunciones influenza	410	1	155	325	416
Casos influenza A (H1N1)	2925	1	6	277	5906
Defunciones influenza A (H1N1)	317	0	0	17	217

Extraído y modificado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/918583/ERV\\_SE20\\_2024.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/918583/ERV_SE20_2024.pdf) (Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud, 2024).



positivos para la influenza estacional; mientras tanto, en México, hasta la semana 20 de la temporada 2023-2024, fueron 12,133 casos de influenza, siendo los estados con mayor número de casos Nuevo León, Ciudad de México y Querétaro. Cabe mencionar que el subtipo circulante predominante era el A(H1N1) (Dirección General de Epidemiología, 2024), responsable de la pandemia del 2009.



## ¿ES POSIBLE UNA NUEVA PANDEMIA DE INFLUENZA?

Se han presentado diferentes pandemias de influenza a lo largo de la historia que surgen de cambios ocasionados por los mecanismos de mutación, por lo que es importante la vigilancia epidemiológica que se realiza constantemente a este virus.

Desde 1918, las pandemias de influenza se reportan cada 10 a 100 años, esto se debe al potencial pandémico de este tipo de virus, por su alta variabilidad genética. Recientemente, en junio de 2024, la cepa H5N2 cobró importancia a nivel nacional ya que, de presentarse sólo en aves, pasó a infectar también a los humanos. Esta capacidad de poder contagiar nuevas especies se

ha visto en otras ocasiones, por ejemplo, con la cepa H5N1 reportada en humanos desde 1997, en la actualidad se le lleva una vigilancia estrecha (UNAM, 2024).

Como conclusión, el virus de la influenza, así como muchos otros virus respiratorios, tiene el potencial para desatar nuevas pandemias, como lo experimentamos con el SARS-CoV-2 y la enfermedad de COVID-19. Sin embargo, la vacunación y los hábitos de higiene son claves para prevenir nuevos brotes de la enfermedad (Organización Panamericana de la Salud, 2023), los cuales deben ser observados principalmente por la población vulnerable, adultos y niños con enfermedades crónicas (Centro de Control y Prevención de Enfermedades 2024).

## REFERENCIAS

Arias, Carlos F., López, Susana. (2009). Anatomía del virus de la influenza A/ H1N1-2009, *Ciencia*, 60, 14-24.

Asociación Mexicana de Vacunología. (2023). *¿Qué es la vacuna de la influenza? Vacuna Influenza*, <https://vacunacion.org/influenza-vacuna/>

Caini, Saverio, Huang, Q Sue, Ciblak, Meral A., et al. (2015). Epidemiological and virological characteristics of influenza B: results of the Global Influenza B Study, *Influenza and Other Respiratory Viruses*, 9, 3-12.

Centro de Control y Prevención de Enfermedades. (2024). *Informe semanal de vigilancia de la influenza en EE UU*, <https://www.cdc.gov/flu/weekly/index.htm>

Da Costa, Vivaldo G., Saivish, Mariane-la. V., Santos, Dhulla. E.R., et al. (2020). Comparative epidemiology between the 2009 H1N1 influenza and COVID-19 pandemics, *Journal of Infection and Public Health*, 13(12), 1797-1804.

Dirección General de Epidemiología. (2018). *Informes Semanales para la Vigila-*

*lancia Epidemiológica de Influenza 2018-Semana Epidemiológica 52*, <https://www.gob.mx/salud/documentos/informes-semanales-para-la-vigilancia-epidemiologica-de-influenza-2018-semana-epidemiologica-52>

Dirección General de Epidemiología. (2020). *Informe semanal de la temporada de influenza estacional 2019-2020 (semana 40 a la 20)/semana 52*, [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/520496/20191226\\_archivo\\_INFLUENZA\\_SE52\\_2019.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/520496/20191226_archivo_INFLUENZA_SE52_2019.pdf)

Dirección General de Epidemiología. (2024). *Informe semanal de la COVID-19, influenza y otros virus respiratorios 2023*, [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/880140/INFLUENZA\\_OVR\\_SE52\\_2023.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/880140/INFLUENZA_OVR_SE52_2023.pdf)

Gillman, Anna, Muradrasoli, Shaman, Söderström, Hanna, et al. (2015). Oseltamivir-resistant influenza A (H1N1) virus strain with an H274Y mutation in neuraminidase persists without drug pressure in infected mallards, *Applied and Environmental Microbiology*, 81(7), 2378-2383.

Harrington, Walter N., Kackos, Christina M., Webby, Richard J. (2021). The evolution and future of influenza pandemic preparedness, *Exp Mol Med*, 53, 737-749. <https://doi.org/10.1038/s12276-021-00603-0>

Hickerson, Brady T., Petrovskaya, Svetlana N., Dickensheets Harold, et al. (2023). Impact of Baloxavir Resistance-Associated Substitutions on Influenza Virus Growth and Drug Susceptibility, *J Virol*. 97(7):e0015423. Doi: 10.1128/jvi.00154-23

Instituto Mexicano del Seguro Social. (2009). *Prevención, diagnóstico y tratamiento de la influenza A (H1N1). Guía práctica clínica*, [https://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/guiasclinicas/000GER\\_H1N1.pdf](https://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/guiasclinicas/000GER_H1N1.pdf)

Lampejo, Temi. (2020). Influenza and antiviral resistance: an overview, *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 39(7), 1201-1208.

Montoya, Ana I., y Muñoz, Carlos A. (2009). Influenza A, *Medicina & Laboratorio*, 15(03-04), 111-144.

Organización Mundial de la Salud. (2017). *Composición recomendada de las vacunas contra el virus de la influenza para su uso en la temporada de influenza 2017-2018 en el hemisferio norte*, <https://www.who.int/publications/m/item/recommended-composition-of-influenza-virus-vaccines-for-use-in-the-2017-2018-northern-hemisphere-influenza-season>

Organización Mundial de la Salud. (2023). *Anuncio de las recomendaciones sobre la composición de la vacuna antigripal para la temporada gripal de 2023-2024 en el hemisferio norte*, <https://www.who.int/es/news/item/24-02-2023-recommendations-announced-for-influenza-vaccine-composition-for-the-2023-2024-northern-hemisphere-influenza-season>

Tewawong, Nipaporn, Prachayangprecha, Slinporn, Vichiwattana, Preeyaporn, et al. (2015). Assessing antigenic drift of seasonal influenza A (H3N2) and A (H1N1) pdm09 viruses, *PLoS One*, 10(10), e0139958.

Universidad Nacional Autónoma de México. (2024). *Influenza aviar H5N2 en México. ¿Peligro para las personas?*, <https://gaceta.facmed.unam.mx/index.php/2024/06/14/influenza-aviar-h5n2-en-mexico-peligro-para-las-personas/>

**Recibido: 14/02/2024**  
**Aceptado: 07/10/2024**

**[Descarga aquí nuestra versión digital.](#)**



— •  • —

# SECCIÓN ACADÉMICA

## Exploración de la economía circular en la minería de cobre con base en la biosíntesis de partículas a escala nanométrica de óxidos metálicos a partir de cuprita para la degradación de colorante azul de metileno por fotocatalisis

— •  • —

## Exploración de la economía circular en la minería de cobre con base en la biosíntesis de partículas a escala nanométrica de óxidos metálicos a partir de cuprita para la degradación de colorante azul de metileno por fotocatalisis

Nora Elizondo-Villarreal\*

María Aracelia Alcorta-García\*

Rosa María Estrada-Martínez\*

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.130-4>

### RESUMEN

Se explora la economía circular en la minería mediante la biosíntesis de nanopartículas de óxidos de cobre a partir de cuprita, promoviendo un desarrollo sostenible. Los nanomateriales obtenidos degradan el contaminante azul de metileno por fotocatalisis, con una eficiencia del 65% en 40 minutos. Las nanopartículas se caracterizaron mediante espectroscopia UV-Vis, difracción de rayos X (XRD), microscopía electrónica (SEM y TEM) y alta resolución (HR-TEM), determinándose su estructura y morfología. Este enfoque fomenta la reutilización de recursos, reduce desechos e impulsa la innovación, integrando prácticas sostenibles y tecnología avanzada en la minería del cobre, generando un impacto positivo.

Palabras clave: economía circular, biosíntesis, nanopartículas, cuprita, sostenibilidad.

La economía circular es clave en el desarrollo sostenible, promoviendo la reutilización, reducción de desechos y eficiencia sobre los recursos (figura 1a). En la minería, especialmente del cobre, se prioriza minimizar impactos, revalorizar

### ABSTRACT

*The circular economy in mining is explored through the biosynthesis of copper oxide nanoparticles from cuprite, promoting sustainable development. The obtained nanomaterials degrade the pollutant methylene blue via photocatalysis, achieving 65% efficiency in 40 minutes. The nanoparticles were characterized using UV-Vis spectroscopy, X-ray diffraction (XRD), and electron microscopy (SEM, TEM, and high-resolution HR-TEM), determining their structure and morphology. This approach fosters resource reutilization, reduces waste and drives innovation; integrating sustainable practices and advanced technology in copper mining, generating a positive impact.*

*Keyword: circular economy, biosynthesis, nanoparticles, cuprite, sustainability.*

subproductos y optimizar energía y operaciones, fomentando la sostenibilidad (Kirchherr *et al.*, 2018; Subin *et al.*, 2024). Aquí incluimos algunos ejemplos de cómo otras industrias extractivas han implementado este enfoque:

\* Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México.  
Contacto: nelizond@yahoo.com, maria.alcortagr@uanl.edu.mx, rmestrada27@gmail.com

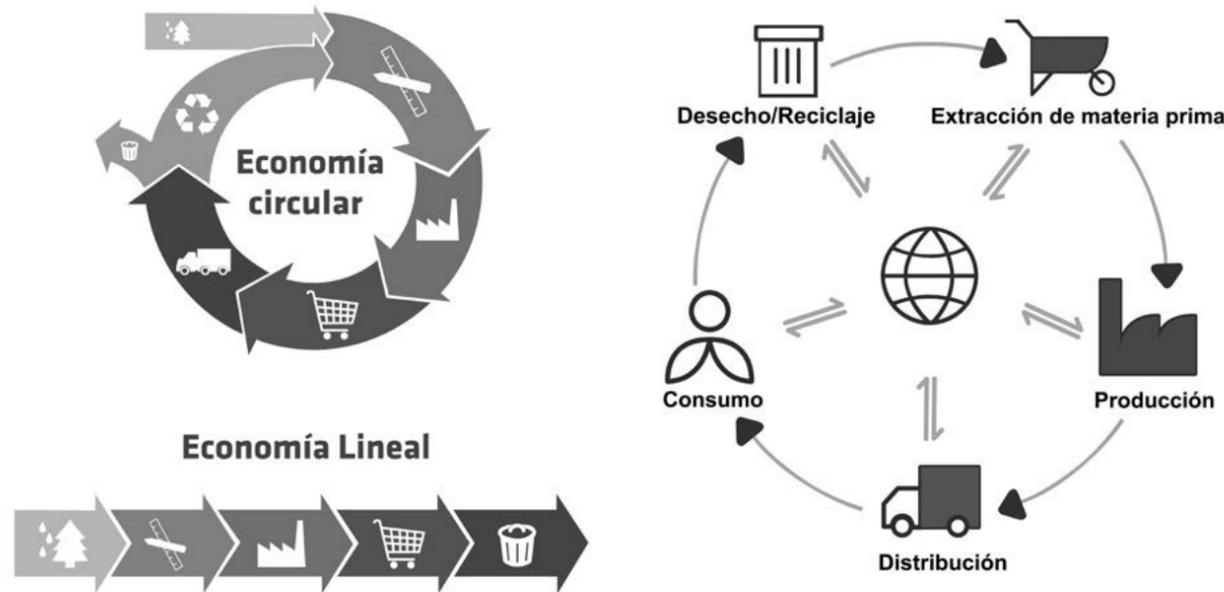


Figura 1. a) Economía circular incluye el reciclaje en comparación con la economía lineal, y b) análisis de ciclo de vida de un producto.

Minería de cobre en Chile: algunas empresas mineras han implementado programas de reciclaje de agua y reutilización de relaves. Por ejemplo, la empresa Codelco ha desarrollado tecnologías para tratar y reutilizar el agua en sus procesos, reduciendo así el consumo de recursos hídricos (Codeco Sustainability Report, 2020).

Reciclaje de metales en la industria del aluminio: se han adoptado prácticas de economía circular mediante el reciclaje de chatarra de aluminio. Empresas como Alcoa han establecido procesos de reciclaje, lo que reduce la necesidad de extracción de bauxita y disminuye las emisiones de carbono (Alcoa Sustainability Report, 2020).

El análisis de ciclo de vida (LCA) (figura 1b) proporciona una visión detallada de los impactos ambientales asociados con cada etapa del proceso, desde la extracción de la mena de cuprita hasta la producción y aplicación de los nanomateriales.

En este trabajo exploramos la economía circular mediante la obtención de precursores de cobre directamente del mineral cuprita, lo que representa un ahorro significativo en comparación con la compra de precursores puros a empresas químicas. Utilizamos química verde al emplear desechos agrícolas para sintetizar nanopartículas de cobre, lo que no sólo promueve el reciclaje, también reduce el impacto ambiental al evitar el uso de reactivos químicos. Además, investigamos una aplicación ambientalmente beneficiosa: la degradación de colorantes en aguas residuales generadas por la industria textil.

La biosíntesis de nanopartículas y nanocompuestos de cobre mediante química verde se ha convertido en una alternativa sostenible, reduciendo el uso de químicos tóxicos y aprovechando residuos agrícolas que ayudan a la reducción de iones metálicos (Su *et al.*, 2024; Vincent *et al.*, 2022). Los nanomateriales obtenidos tienen aplicaciones en fotocatalisis para degradar contami-

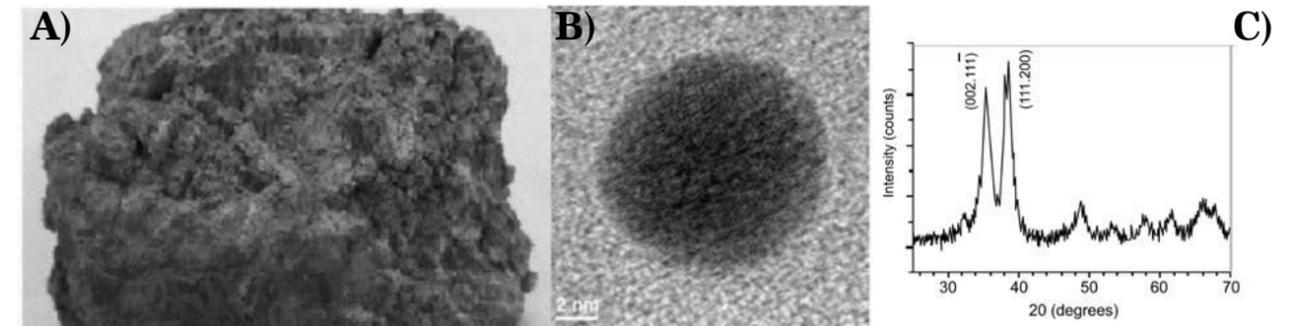


Figura 2. Caracterización de nanopartículas de óxido de cobre obtenidas directamente del a) mineral de cobre cuprita, b) imagen HRTEM de una nanopartícula esférica de 6 nm de diámetro con alta cristalinidad, y c) difractograma de rayos X correspondiente a las nanopartículas de óxido de cobre obtenidas mediante el método de polvos.

nantes en agua y aire (Priya *et al.*, 2021; Bonthula *et al.*, 2023); en microelectrónica mejoran la eficiencia de dispositivos (Fen y Zhu *et al.*, 2019; Bonthula *et al.*, 2023) y en agricultura como fertilizantes inteligentes y agentes antimicrobianos (Su *et al.*, 2024).

En salud, las nanopartículas de cobre destacan por sus propiedades antimicrobianas, utilizadas en apósitos y dispositivos biomédicos (Ermini y Voliani, 2021). Métodos del tipo espectroscopia UV-Vis, XRD y SEM permiten analizar estructuras y optimizar su desempeño en diversas aplicaciones (Baraiya *et al.*, 2020).

El desarrollo de un proceso sostenible que utilice residuos de la minería del cobre, como la mena de cuprita, para producir nanomateriales representa un avance clave hacia la economía circular. Este enfoque reduciría los impactos ambientales y generaría nuevas oportunidades de aprovechamiento más eficiente de recursos, promoviendo la sostenibilidad ambiental y económica.

## METODOLOGÍAS AVANZADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE NANOMATERIALES DE COBRE

Difracción de Rayos X (XRD): estructura cristalina. Esta técnica nos permite identificar la estructura cristalina y las fases de los nanomateriales, permitiendo

verificar su composición y estructura atómica, clave para aplicaciones como la fotocatalisis y la electrónica, que influyen en la conductividad y reactividad química.

Microscopía electrónica: morfología nanométrica. El SEM y TEM permiten analizar la morfología y la estructura interna de los nanocompuestos, revelando detalles sobre la forma, distribución y defectos esenciales en aplicaciones médicas y microelectrónicas.

Espectroscopia UV-Vis: propiedades ópticas. La espectroscopia UV-Vis evalúa las propiedades de los nanomateriales, como el *gap* de energía y la absorción óptica, fundamentales en las aplicaciones fotocatalíticas y la purificación de agua.

Las técnicas mencionadas permiten un análisis integral de los nanocompuestos de cobre, desde su estructura cristalina hasta su comportamiento óptico, asegurando la calidad del material y guiando su optimización para aplicaciones específicas. Además, promueven soluciones más eficientes y sostenibles. En la figura 2, el mineral de cobre cuprita (a, b) muestra una imagen HRTEM de una nanopartícula esférica de 6 nm con alta cristalinidad, y se presenta el difractograma de rayos X (c) por el método de polvos de nanopartículas de óxido de cobre.

Sinergia de las técnicas de caracterización. La combinación de estas metodologías permite un análisis integral de los nanocompuestos de cobre, cubriendo aspectos estructurales, morfológicos y funcionales, lo cual es clave al desarrollar materiales avanzados que cumplan con los requisitos de sostenibilidad y rendimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de síntesis de  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  se realiza a partir de polvos de piedra de mina. Este proceso incluye la disolución de los polvos en ácido clorhídrico y agua desionizada, seguido de ultrasonido, lavado por centrifugación con agua y alcohol, y repetidos ciclos de dispersión y centrifugación para eliminar impurezas. El precipitado final se seca en una estufa y se caracteriza. La solución resultante se trata con etanol y se calienta en un horno a  $90^\circ\text{C}$  durante tres horas con el objetivo de obtener el producto final.

Como ejemplo integrado: desarrollo de un catalizador fotocatalítico. Las industrias, en especial la textil, liberan grandes cantidades de colorantes en fuentes de agua naturales, lo que representa una amenaza para la salud humana. El azul de metileno, en particular, es tóxico y puede ser cancerígeno con el contacto regular. Su eliminación es crucial, ya que su ingesta puede provocar diversos problemas de salud, entre otros dificultad respiratoria, trastornos abdominales, digestivos y mentales, náuseas, diarrea, vómitos e irritaciones en la piel y los ojos. Incluso el contacto directo con la piel puede causar enrojecimiento y picazón.

Este tinte textil es tóxico, cancerígeno y no biodegradable, lo que lo convierte en un contaminante peligroso para el agua potable y la vida marina. Es esencial eliminarlo del agua residual antes de su vertido. Los nanomateriales, nanopartículas y nanotubos son efectivos al absorber colorantes debido a su gran área de superficie y sitios activos. Estructuras como los nanotubos de ZnO han

demostrado una fuerte capacidad de absorción de contaminantes, lo que los hace prometedores en la degradación de tintes.

La nanotecnología ofrece un gran potencial al crear nanomateriales capaces de eliminar contaminantes del tipo azul de metileno de aguas residuales. Estos materiales innovadores, desarrollados a escala nanométrica, ayudan a purificar el agua y promueven la sostenibilidad ambiental. Es crucial seguir investigando en este campo si se desea encontrar soluciones efectivas y accesibles, especialmente en México y países similares, y combatir la creciente contaminación del agua a nivel global.

La adsorción es el método más sencillo para eliminar colorantes como el azul de metileno (MB). Utilizando materiales modernos y naturales, especialmente bioabsorbentes vegetales, se busca mejorar la eficiencia y reducir costos. Un estudio reciente demostró que las cáscaras de habas pueden eliminar hasta el 90% del MB a una concentración de 50mg/l, destacando su potencial absorbente (Khan *et al.*, 2022).

En el diseño de un fotocatalizador contra la degradación de contaminantes en aguas residuales:

1. XRD, confirmaría la estructura cristalina adecuada en las reacciones catalíticas.
2. SEM/TEM detallarían la morfología y tamaño de las partículas para maximizar la superficie activa y la cristalinidad de las muestras.
3. UV-Vis analizaría el comportamiento óptico, optimizando el *gap* de energía que activa el material con luz visible.

## ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA

La eficiencia de degradación (%) se calculó utilizando la ecuación 2:

$$D = (C1 - C2) \times 100 / C1$$

donde  $D$  es la eficiencia de degradación (%) y  $C1$  y  $C2$  son las cantidades inicial y final del colorante en el líquido (mg/l). Usando esta ecuación, las nanopartículas de CuO mostraron una buena eficiencia en la degradación de metileno, logrando hasta un 24% de remoción en cinco minutos y un 65% en 40 minutos al utilizar 10 mg de nanopartículas de CuO en 60 ml de azul de metileno (MB) a 10 mg/l (figura 3).

En la figura 3 se observa el fotocatalizador con óxido de grafeno y partículas de óxido de cobre, eficaz en la degradación del azul de metileno bajo luz ultravioleta, el grado de degradación y los espectros UV del azul de metileno a diferentes tiempos.

Este enfoque asegura un catalizador eficiente y viable con miras a aplicaciones industriales, entre ellos la degradación de colorantes en la industria textil. El análisis UV del azul de metileno (MB) es esencial en estudios de fotodegradación, basándose en su espectro UV-Visible. La absorción máxima a 664 nm disminuye gradualmente durante el proceso, como se observa en la figura 3 (Verástegui *et al.*, 2022).

## CONCLUSIONES

El estudio confirma la viabilidad de la exploración de la economía circular en la minería del cobre mediante la biosíntesis de nanopartículas de óxidos de cobre a partir de cuprita. Se destaca la reducción del impacto ambiental y el uso de química verde para fomentar la sostenibilidad.

Los nanomateriales obtenidos demostraron alta eficiencia en la degradación de contami-

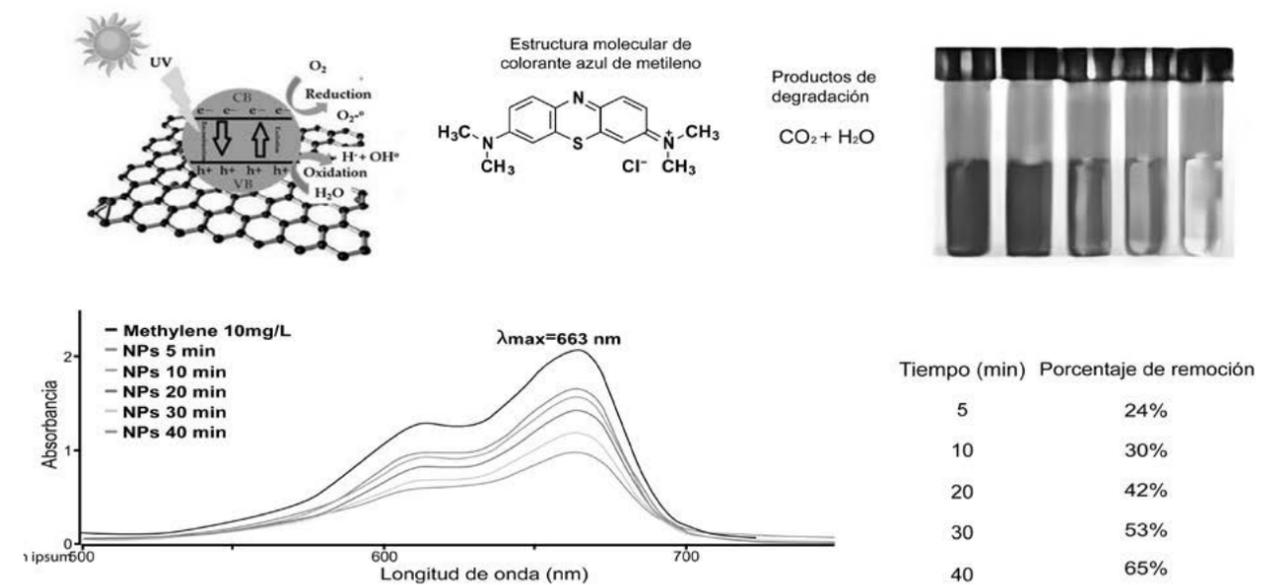


Figura 3. Fotocatalizador compuesto de óxido de grafeno y óxido de cobre a escala nanométrica, eficaz para degradar azul de metileno bajo luz UV. UV muestran la actividad catalítica en porcentajes de remoción de MB contra el tiempo en minutos.

nantes, logrando un 65% de remoción de azul de metileno en 40 minutos mediante fotocatalisis, lo que evidencia su potencial en la purificación del agua.

Las caracterizaciones mediante UV-Vis, XRD, SEM y TEM validaron la estructura y propiedades ópticas de los materiales, asegurando su idoneidad en aplicaciones tecnológicas y ambientales.

Este enfoque permite reducir el uso de químicos tóxicos y transformar desechos mineros en materiales funcionales de alto valor agregado, impulsando una minería más sustentable. Además, el desarrollo de estos nanomateriales abre oportunidades en sectores como la electrónica, la agricultura y la salud, fortaleciendo la nanotecnología en la economía circular.

Sin embargo, si se desea evaluar la economía circular es necesario un análisis más detallado del impacto ambiental LCA y la optimización de los procesos involucrados en este estudio. Esto proporcionará una visión más completa del impacto ambiental y ayudará a comparar la sostenibilidad de diferentes métodos de síntesis.

## REFERENCIAS

Alcoa. (2020). *Sustainability Report 2020*, <https://www.alcoa.com/sustainability/en/home.page>  
Bonthula, Sumalatha, Bonthula, Srinivasa R., Ramyakrishna, Pothu, *et al.* (2023). Recent advances in copper-based materials for sustainable environmental applications, *Sustain. Chem.*, 4(3), 246-271, <https://doi.org/10.3390/suschem4030019>  
Codelco. (2020). *Sustainability Report 2020*, <https://www.codelco.com/sustainability-report-2020>

Ermini, María L., y Voliani, Valerio. (2021). Antimicrobial nano-agents: The copper age, *ACS Nano*, 15(7), 6008-6029, <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c10756>

Feng, Yang, y Zhu, Jian. (2019). Copper-based nanomaterials for flexible and stretchable electronics: Synthesis, properties, and applications, *Science China Materials*, 62, 1679-1708, <https://doi.org/10.1007/s40843-019-94685>

Harishchandra, Baraiya D., Pappuswamy, Manikantan, Antony, P.U., *et al.* (2020). Copper nanoparticles: A review on synthesis, characterization and applications, *Asian Pacific Journal of Cancer Biology*, 5(4), 201-210, <https://doi.org/10.31557/apjcb.2020.54.201>

Khan, Idrees, Saeed, Khalid, Zekker, Ivar, *et al.* (2022). Review on methylene blue: Its properties, uses, toxicity and photodegradation, *Water*, 14(2), 242. <https://doi.org/10.3390/w14020242>

Kirchherr, Julian, Piscicelli, Laura, Bour, Ruben, *et al.* (2018). Barriers to the circular economy: Evidence from the European Union (EU). *Ecological Economics* 150 (2018), 264-272 <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>

Priya, S. Chandhini, Vijayalakshmi, S., Raghavendra, S. Gokul, *et al.* (2021). A critical review on efficient photocatalytic degradation of organic compounds using copper-based nanoparticles, *Materials Today: Proceedings*, 80, 30753081. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.169>

Su, Chengpeng, Chen, Anqi, Liang, Weiyu, *et al.* (2024). Copper-based nanomaterials: Opportunities for sustainable agriculture, *Science of The Total Environment*, 926, 171948, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171948>

Subin, Antony J., Calhoun, Joy, Renteria, Otoniel B., *et al.* (2024). Promoting a circular economy in mining practices, *Sustainability*, 16(24), 11016, <https://doi.org/10.3390/su162411016>

Verástegui-Domínguez, Luz H., Elizondo-Villareal, Nora, Martínez-Delgado, Dora I., *et al.* (2022). Eco-friendly reduction of graphene oxide by aqueous extracts for photocatalysis applications, *Nanomaterials*, 12(21), 3882, <https://doi.org/10.3390/nano12213882>

Vincent, Jei, Lau, Kam S., ChiaYan Evyang, Yang, *et al.* (2022). Biogenic synthesis of copper-based nanomaterials using plant extracts and their applications: Current and future directions, *Nanomaterials*, 12(19), 3312, <https://doi.org/10.3390/nano12193312>

Recibido: 13/12/2025  
Aceptado: 10/02/2025

Descarga aquí nuestra versión digital.





# Literatura para mirar la ciencia con ojos de Epimeteo



Melina Sarahid-García\*

\* Instituto Estatal Electoral y de Participación Ciudadana de Nuevo León, Monterrey, México. Contacto: melinasarahid@gmail.com

Fotografía digital: Edgar Moreno.

**i** Quién es el monstruo de *Frankenstein o el moderno Prometeo*? ¿Las atrocidades cometidas por la criatura, son su responsabilidad o son responsabilidad del Creador? A dos siglos de la publicación de la novela de corte epistolar, su lucidez sigue siendo un parteaguas, una obra literaria imprescindible para las mentes curiosas cuyo sentido de vida está volcado a la ciencia y la inventiva.

Ya en el subtítulo su autora, Mary Shelly, dispara directo a la dimensión de trascendencia mitológica con el personaje de Víktor Frankenstein, un brillante y disciplinado científico cuya pasión por el conocimiento y el deseo de explorar todas las posibilidades de la ciencia aplicada lo llevan a transgredir la naturaleza transformando el ciclo de la vida y la muerte, usando su saber para generar vida artificial, convirtiéndolo así en un mito de la modernidad que representa la capacidad de la ciencia frente a la naturaleza.

El Creador sustrae restos de las tumbas, uniendo miembros y órganos para concebir un ser vivo nacido en un laboratorio, un ser que superará al humano normal en fuerza física, chispa intelectual e incluso en la intensidad de sus pasiones; el monstruo, criatura, engendro o demonio, como le llama su Creador, es capaz de sentir, persuadir, razonar y, al igual que él, transgredir. Repudiado por su apariencia, es condenado a la soledad y, dejándose arrastrar por su instintos, se convierte en asesino. Al encontrar muerto a su dios-Creador, el monstruo explica la condición de rechazo que origina sus penas:

**C**uando la busqué (la compañía humana), al principio, sólo deseaba participar del amor al bien y de los sentimientos de felicidad y alegría que albergaba mi alma. Pero ahora que la virtud no es para mí más que una sombra, la felicidad y la alegría se han tornado desesperación, ¿dónde podría buscar comprensión? No, me conformo con sufrir solo, mientras duren mis sufrimientos. Y cuando muera aceptaré que el odio y el oprobio descansen sobre mi memoria.



Fotografía digital: Edgar Moreno.

¿Cuál es la pertinencia hoy de leer una obra escrita en el siglo XIX? Esta joya literaria lleva en su corazón una postura de filosofía de la ciencia, una manera de analizar las decisiones que tomamos en lo que concierne a los proyectos de investigación científica. En la historia reciente hemos acudido con desconcierto y algarabía a un avance tecnológico sin precedentes, haciendo uso de sus frutos con voracidad, pero también hemos presenciado sucesos lamentables a los que nos ha llevado la aplicación de la tecnología y el conocimiento sin considerar el impacto en la dignidad del ser humano, como lo fue, por ejemplo, la bomba atómica y el desarrollo de armas nucleares.

Nuestra era se caracteriza por una ciencia pragmática y utilitaria en la que la tecnología y la información persiguen objetivos diversos; la pertinencia de explorar la condición humana a través de la obra gótica de Mary Shelley radica en poner sobre la mesa de diálogo una duda vital que da sentido a los proyectos de investigación o creación. ¿Ciencia para qué?, ¿conocimiento para qué?, ¿existen límites en su obtención?, ¿hay responsables en las consecuencias de investigaciones científicas?, ¿hay límites morales? Adelantada a su tiempo, la autora ya percibía los escalofriantes resultados que puede conllevar una búsqueda insaciable de poder a través del saber científico.

En 1818, año en que fue publicada, en los albores de la Revolución Industrial, no existía aún la pertinencia de establecer comités de bioética que revisaran y vigilaran el desarrollo de investigaciones, que observaran y analizaran las repercusiones, ya sea de los posibles beneficios o las acciones en detrimento de la humanidad que éstas conllevan.

En el siglo XXI, las narrativas relacionadas a la ciencia y tecnología convierten a sus personajes y relatos en una singular reinvención de las antiguas epopeyas de gestas en las que, sin duda, hay que tocar los terrenos éticos y morales del conocimiento, porque hoy, la lucha ya no es por territorios, sino por el poder que lleva consigo la información.

¿El monstruo es engendrado también por condiciones de estructuras sociales? Muestra remordimiento por sus actos, a diferencia del Creador, quien confiesa no sentir culpa por las consecuencias de su experimento. La genialidad de la inventiva y la sensibilidad en la pluma de Mary Wollstoncraft Godwin Shelly están vertidas en la profundidad discursiva y las facultades de juicio, inteligencia, persuasión en las que dialogan las voces de ambas partes, Creador-Engendro. Esta obra en tono epistolar lleva la voz narrativa en un explorador que ansía conquistar nuevos horizontes en aras de un supuesto beneficio de la humanidad, al igual que Víktor, es capaz del sacrificio en favor del descubrimiento.

## LOS MOTIVOS DE LA CREACIÓN Y LA BÚSQUEDA DE CONOCIMIENTO

El *leitmotiv* discursivo del doctor Víktor explora las motivaciones psicológicas de este ¿genio?, ¿inventor? ¿Víktor creó un monstruo para beneficio de la humanidad o acaso las motivaciones altruistas estaban ocasionadas por orgullo y arrogancia? Podemos trasladar este dilema a las empresas que en primera instancia pretenden aportar bienestar, pero terminan causando dolor, sufrimiento y muerte, como el lamentable suceso de la bomba atómica en Hiroshima y Nagasaki. ¿Cómo se sintieron los inventores del arma tras el genocidio de 1945?

La estructura de la consiste en, misivas de un explorador que ansía conquistar tierras desconocidas, ser el primero en llegar a donde ningún otro lo ha hecho, desafiando los límites que impone la naturaleza con un clima áspero en frialdad, y corriendo graves peligros con tal de triunfar con su empresa: ir más allá de lo conocido. En esta exploración se encuentra con el moderno Prometeo y protagonista, Víktor Frankenstein, quien, obnubilado, persigue al engendro que ha creado juntando piezas de muertos para coronarse en una especie de dios de laboratorio cuyo conocimiento científico transgrede las leyes de la naturaleza alumbrando un ser que supera al ser humano en fuerza e inteligencia.

El subtítulo, *el moderno Prometeo*, alude al personaje clásico de la mitología griega quien, siendo capaz de mirar el futuro, roba el fuego de los dioses y lo entrega a los humanos en un afán protector: con éste les otorga la posibilidad de transmutar la materia y abre las puertas al desarrollo de las técnicas que les permiten dominar la naturaleza para sobrevivir, alejando a las bestias, cocinando la carne, transformando; su hermano, Epimeteo, representa la reflexión posterior a los actos ya consumados, es decir, es quien medita más tarde en las consecuencias de sus decisiones. Walton, el escritor de las epístolas, ya encaminado en su objetivo por el cual ha abandonado la comodidad de su hogar, encuentra en el testimonio de Víktor un reflejo de sí mismo.

Al final de la correspondencia a su hermana Margaret, Waldo, quien lleva la voz narrativa, encuentra al engendro de Frankenstein frente al cadáver del doctor, llorando, y le dice que no se vaya, éste le explica que es su última víctima, producto de una desesperación que le motiva a la conclusión de su objetivo, pero que también se lamenta y se arrepiente pues en esa muerte ha quedado ya simbolizada la marca de su existencia como la de un ser hecho no con las capacidades racionales y las altas virtudes en las emociones, sino con la crueldad, la soledad y el infortunio.

Considero que al final de las epístolas hay dos discursos que permiten un diálogo filosófico sobre las cuestiones de la existencia en ambos personajes, por un lado la arenga que hace Víctor tratando de convencer a la tripulación de que no abandonen su objetivo y sean firmes de espíritu, alegando que quienes no tienen capacidad para prever más allá en su imaginación la trascendencia que implica alcanzar los fines idealistas, acusándoles de no ser capaces de aguantar las penalidades que conllevan las grandes empresas, es decir, quiere alentarlos a continuar por un camino similar al suyo. Por otro lado está el encuentro del engendro con el cadáver, en el que expresa su arrepentimiento y tristeza por vivir en soledad, en cómo también siente emociones semejantes a lo humano, porque se ha dejado llevar por su arrebatado de venganza y odio hasta la consumación de un último fin, si bien nosotros sentimos, al igual que él, arrebatos pasionales que pueden inducir a la criminalidad y al daño sobre otros, es la facultad de suprimir esos deseos lo que nos permite construir una sociedad políticamente organizada y no vivir en un aislamiento perpetuo.

El engendro, a quien describen horrible y desproporcionado, es un representante opuesto de los ideales de belleza, aspecto que también lo hace sentir excluido y por el cual juzga a la humanidad de no tener la capacidad de ver más allá de las apariencias, sino que se le excluye por una diferencia física, esto lo llena de odio y rencor hacia la sociedad normalizada. ¿Quién es realmente el monstruo? ¿El científico que impone su voluntad sobre la naturaleza creando vida en el laboratorio y condenándole a una soledad existencial? ¿O el monstruo que, por cierto, es un vegetariano que no se alimenta del sufrimiento de otras especies y que sólo pedía la aceptación y una compañía que le traería comprensión y alegría? ¿Tuvo alguna vez Víctor Frankenstein compasión hacia su criatura? Jamás, en todo el desarrollo de la novela, manifiesta ternura, sino que sus palabras son expresadas siempre desde un discurso de racionalidad.

Por otro lado, con su muerte, Víctor Frankenstein no siente un arrepentimiento, no asume culpa o responsabilidad sobre su creación, sino que se va hacia ella con deseo de venganza, incluso tratando de convencer a otros de que arriesguen su propia vida, semejante a aquella voluntad humana movida por Oppenheimer con tal de demostrar la verdad en sus teorías.

El convencimiento que tiene sobre el grupo de viaje hacia la exploración está en la gloria que supone el conquistar nuevas tierras y llevar conocimiento para beneficio de la humanidad, lo cual acarrearía fama y fortuna al demostrar que la fuerza de voluntad se ha impuesto sobre las inclemencias del hielo, cuando el grupo le pide al capitán que se den por vencidos y vuelvan a Inglaterra, Víctor lanza un arrebatado discurso en el que busca persuadirles de continuar con la empresa, de alguna manera explicando con ello cómo su deseo de dominar la voluntad le ha instado a perseguir sus fines científicos en una búsqueda arrogante por conquistar la trascendencia de su nombre en un supuesto altruismo, en el que se desdobra la complejidad de la condición humana: mientras por un lado puede comprender cómo esa ambición lo lleva a elaborar en el laboratorio su propia destrucción, también fue impulsado por deseos personales de gloria estimulados por el ego y la arrogancia.

¿Cuál es el sentido del conocimiento? ¿Acumularlo, generarlo, alardear, construir bienestar, transgredir la naturaleza, ejercer poder a través de las posibilidades de la tecnología sobre ésta, domesticarla, superarla? En esta obra exploramos la condición humana en relación al saber científico, la pertinencia de su análisis en el mundo contemporáneo es necesaria porque aún con todos los alcances de la ciencia y la tecnología que se han generado desde su publicación en el siglo XIX hasta la fecha, la humanidad no ha logrado hacer uso del conocimiento hacia una vida de bienestar que se distribuya de manera democrática, al contrario, parece que éste se encuentra a merced de un pequeño número de personas que usan los saberes del capital intelectual en beneficio del mercado.

Revisar esta obra es fundamental para las y los científicos del siglo XXI, porque nos sensibiliza frente a las posibilidades del conocimiento y nos insta a reconocer qué tanto hay de Creador ambicioso en cada lector y qué tanto somos semejantes al engendro de Víctor Frankenstein, quien, atormentado por el producto de su creación en el laboratorio, persigue a su monstruo como aquel que sale a la cacería de su propia sombra en el diván.

Shelly Mary. (1818). *Frankenstein o el moderno Prometeo*, Ediciones Ariel.

[Descarga aquí nuestra versión digital.](#)



Fotografía digital: Edgar Moreno.

# Redes para apuntalar el sistema de innovación de Guanajuato: la trayectoria de **Adriana Martínez Martínez**



María Josefa Santos-Corral\*

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

**A**driana Martínez Martínez tiene un doctorado en Estudios Sociales por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Es profesora investigadora titular de la ENES León, donde trabaja en las líneas de análisis vinculadas a capacidades y políticas de innovación, sistemas sociotecnológicos, aprendizaje tecnológico, electromovilidad e industria 4.0. Temas sobre los que ha publicado libros como autora y coordinadora, artículos en revistas indexadas, capítulos de libro, además de haber dictado numerosas conferencias.

La doctora Martínez es una actriz muy importante en la conformación del ecosistema de innovación en Guanajuato, mismo que ha impulsado y en el que ha participado desde distintas instituciones. Es también cofundadora y codirectora de la revista científica electrónica *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*. Ha recibido diversos premios y distinciones, entre los que destacan: Premio Nacional a la Investigación Laboral 2005, los reconocimientos Sor Juana Inés de la Cruz y el Gustavo Baz Prada, ambos otorgados por la UNAM, en 2016, y por la elaboración del Plan Estatal de Ciencia y Tecnología Guanajuato 2030, otorgado por el Gobierno del Estado.



**¿Cuándo y cómo descubre la doctora Martínez su vocación por la investigación?**

Mi gusto por esta actividad comienza en 1992, cuando fui invitada a cursar la maestría recién creada en Economía y Gestión del Cambio Tecnológico, coordinada por la doctora Gabriela Dutrenit en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Unidad Xochimilco. Me invitaron a participar, cuando ya estaba trabajando en una empresa, por haber obtenido la medalla al Mérito Universitario durante mis estudios de licenciatura en Administración Financiera en la misma UAM.

De los muchos aspirantes que hicimos el examen de admisión me seleccionaron y obtuve con ello una beca de Conacyt. El cursar esta maestría, la primera en el tema de innovación en México, y con redes académicas con la Universidad de Sussex, fue lo que hizo replantearme la

posibilidad de dedicarme a la docencia y a la investigación, actividades de las que ahora estoy enamorada. Lo interesante de la maestría, en la que participaban como docentes los doctores Mario Capdeville, Mario Cimoli, Rigas Arvanitis, Daniel Villavicencio, Gaby Dutrénit, entre otros, era su trabajo por módulos, igual que el resto de la UAM Xochimilco, y que desarrollabas la tesis a partir del primer trimestre.

Mi asesor fue el doctor Arturo Lara Rivero y con él comencé a trabajar el tema de aprendizaje tecnológico con una perspectiva social, donde las personas y no las empresas eran las protagonistas, un giro especial pues, al ser la maestría en economía, el actor humano no estaba tan presente. El trabajo me gustó porque desde el principio y, aunque no sé muy bien por qué, tuve mucha suerte de poder entrar a las empresas del sector electrónico, que fue sobre el que investigaba. Esta posibilidad de ingresar a las empresas es algo acerca de lo cual la gente y los investigadores suelen preguntarme: ¿cómo lo haces para que te dejen hacer investigación de campo? Porque es bien complicado que te den acceso.

Durante mi exploración trabajé con Motorola, Panasonic, Texas Instrument, NEC y Dicotel, una empresa pequeña mexicana, que fueron mis estudios de

caso. Para acceder a Motorola, por ejemplo, le escribí al Dr. Yasuhiro Matsumoto, profesor de Ingeniería Eléctrica y que estaba a cargo de una planta piloto de semiconductores en el Cinvestav-IPN y él me contactó con un ingeniero de investigación y desarrollo en la empresa y así fui tejiendo mi red. Desde aquel tiempo, eso de hacer vínculos es algo que se me da muy bien.

El problema es que me enamoro de las empresas con las que trabajo, pero aun así los resultados de mis investigaciones salen muy bien, y eso ocurrió con mi tesis de maestría. Tan es así que el Dr. Daniel Villavicencio nos invitó, a mi asesor y a mí, a ser coautores del capítulo: "Aprendiendo a fabricar televisiones como en Japón", el cual retoma fragmentos del análisis de campo de mi tesis, y forma parte del libro *Japan Inc* en México. Las empresas y modelos laborales japoneses, coordinado por el doctor Jordy Micheli.

Cuando en 1994 terminé la maestría me ofrecieron participar en la UAM Xochimilco, pero coincidió con que la empresa alemana en la que laboraba mi esposo fue comprada por los chinos y, al no querer regresar a Alemania, lo liquidaron. Con el dinero de la liquidación, mi esposo apuntaló la sucursal de ventas que había abierto en León, Guanajuato, y nos fuimos para allá.



## ¿Cómo fue el inicio de su vida en la academia?

Cuando llegué a León, en enero de 1995, era una ciudad muy pequeña. Me puse a buscar empleo y en febrero ya estaba trabajando como responsable del Departamento de Recursos Financieros en el Inegi, trabajo que, aunque hacía bien, no terminaba de gustarme. Entonces comencé a buscar oportunidades en distintas universidades, y cuando fui al Tecnológico de Monterrey, campus León, el director de Profesional, Carlos Mendizabal, me ofreció impartir la materia de Macroeconomía, fue mi primer piecito en la academia.

Comencé en agosto de 1995 y uno de mis primeros alumnos fue Luis Ernesto Rojas, él estudiaba Comercio Internacional, ahora es el director de la Coordinadora de Fomento al Comercio Exterior (Cofoce). Los primeros semestres que impartí fueron poco fáciles, pero tomé todos los cursos de capacitación que me ofrecían, y mejoré bastante. Y ahí me enamoré de la docencia; Hans, mi esposo, siempre me decía: "Tú naciste para ser profesora, eres la maestra ideal". Después me ofrecieron el tiempo completo en el Tec y dejé el Inegi; además, corrí con suerte, pues me invitaron a cursar, con beca de 90%, una maestría en Administración bajo la modalidad virtual. Fue un programa muy bueno, en el que no sólo aprendí conocimientos, también mucho sobre tecnología.

Cuando llegamos a León mi esposo me decía: "Lo importante es que hagas redes". Después de 30 años aquí te puedo decir que eso es cierto. En el Tec de Monterrey trabajé diez años haciendo proyectos de investigación. El primero fue sobre instrucción tecnológica en la industria del calzado y la automotriz, recibí financiamiento del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (Concyteg, hoy Instituto de Innovación, Ciencia y Emprendimiento para la Com-



petitividad). De todas las instituciones en las que he participado y me he enamorado, el Tec fue mi primer amor, ahí me formé como profesora; estudié muchas estrategias de enseñanza y la importancia de promover la educación activa, algo que, ahora, desde la UNAM, impulso a través de mis proyectos PAPIME, en los que he incorporado estrategias del tipo aprendizaje basado en problemas, el aula invertida, estudio de casos, gamificación, etcétera. Además, haber formado parte de la planta docente del Tec te da cierta posición en Guanajuato y te facilita el acceso a otros actores, empresas y tomadores de decisiones.

Tiempo después, en el Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología del Trabajo, que se llevó a cabo en Buenos Aires, en el que fui ponente, el doctor Enrique de la Garza presentó el doctorado en Estudios Sociales, que él coordinaba en la UAM-Iztapalapa. El programa me encantó, así que me postulé y fui admitida. En ese momento no trabajaban mucho el tema de innovación, que era el que yo quería seguir estudiando y propuse como asesor al doctor Daniel Villavicencio de la Maestría en Gestión de la UAM-Xochimilco, y lo aceptaron.

En mi tesis de doctorado analicé los procesos de construcción del conocimiento como pilar de las capacidades de innovación, tomé con mucho más énfasis el rol que desempeña el actor social, trabajé en dos empresas de calzado: Calzado Hispana y Grupo Court. La tesis quedó muy bien, prueba de ello fue que obtuve, en 2005, el primer lugar en el Premio a la Investigación Laboral en la categoría de Investigación Aplicada, que organizaba la Secretaría del Trabajo y Prevención Social en conjunto con la OIT.



**¿Nos puede hablar un poco de su labor como coordinadora de Estudios y Política Científica y Tecnológica en el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato?**

En agosto de 2005 me buscó el doctor Pedro Luis López de Alba, director del entonces Concyteg, quien me quería invitar al puesto que había dejado vacante Salvador Estrada porque se iría a cursar un posgrado a España. Mi trabajo principal consistiría en actualizar el programa de ciencia y tecnología, lo que implicaba viajar una hora diaria de León a Guanajuato. Yo ya tenía una plaza en el Tec, pero me habían dicho que no podría hacer investigación, que me debía dedicar a la consultoría. Así que la oferta de Concyteg era atractiva y negocié irme "prestada" un año, siempre y cuando ellos me lo permitieran.

Sin embargo, en diciembre de 2005, a partir de una reestructuración del Tec, me avisaron que estaba entre las personas que liquidarían y que me invitaban a seguir como profesora de cátedra, esto fue muy bueno para mí, porque la actualización del PECyTi estaba demandando mucho esfuerzo de mi parte. Así que cerré un ciclo en el Tec, muy satisfecha por todo lo que me había dado y yo al campus, y abrí uno nuevo en el Concyteg, donde permanecí siete años.



**¿Qué retos supuso el diseño un Programa Estatal de Ciencia y Tecnología para Guanajuato?**

Desde que llegué al Concyteg me involucré en el diseño del plan de Ciencia y Tecnología del estado. Al principio, como ya mencioné, me costó mucho trabajo porque seguía con mis clases en el Tec, así que cuando me liquidaron fue un alivio.

Creo que el reto de hacer el plan fue elegir los elementos que debía considerar al integrar un programa de ciencia y tecnología e innovación (fue el primero a nivel nacional que la incluía) viable y de vanguardia. Porque, aunque en la maestría había tomado clases sobre políticas de ésta, de la teoría a la práctica hay una gran brecha. Supuso también el reto de comenzar a conocer gente, saber a quién iba a invitar y a la vez fue algo muy bueno en mi desarrollo y para la construcción del plan. Recuerdo que la primera consulta la

hicimos al Tec, dentro del equipo invité a Eleazar Puente y a Fernando Herrera, dos queridos colegas. Diseñé una metodología que consistía en incluir a distintos grupos de interés, hice consultas con quienes generan conocimiento, con los que lo utilizan, con los líderes de opinión y con los que están en el top que nos apoyarían en la construcción de la visión.

Así convocamos a las reuniones. Estar en el consejo fue algo muy enriquecedor, porque me permitió conocer y visitar todas las universidades y centros de investigación. Acá todos nos conocemos. El director me mandaba a muchas juntas en su representación, lo que me comenzó a abrir puertas. Iba a reuniones dentro y fuera del estado, organizadas por el Conacyt, la Rednacecyt, AMSDE, ADIAT el entonces Foro Consultivo Científico y Tecnológico, por mencionar algunas instituciones. En ellas participaban los principales actores que impulsan las políticas de ciencia, tecnología e innovación.



**¿Cómo logró involucrarse y coordinar a todos los actores que participan en los procesos de innovación en el estado y qué ventajas o desventajas supuso en esa coordinación el ser mujer?**

Esa pregunta me la han hecho varias veces. No puedo más que decir que los que me han apoyado siempre han sido hombres. Desde mis profesores hasta los funcionarios y empresarios, y también mi esposo. Además, por mi temperamento fuerte no he tenido problemas por ser mujer. Asimismo, me fogueó el ir con la representación del Consejo a muchas conversaciones importantes, con secretarios de Estado y en algunas con el gobernador en turno.

El Concyteg fue una gran plataforma. Me permitió estar en sesiones con el gobernador, Juan Manuel Oliva, y el director del Conacyt, Juan Carlos Romero Hicks, entre otros muchos personajes. Me tocó recibir a la misión de la OCDE que llevó a cabo el estudio "Innovación regional: 15 estados mexicanos", por ejemplo.

Además, estuve en dos consejos importantes: el Consejo Consultivo de Competitividad e Innovación del Instituto de Planeación del Estado de Guanajuato (Iplaneg) y en el Instituto Municipal de Planeación de León (Implan), el primero de planeación del bajío que se fundó en 1994.



**¿Cuál ha sido su papel en la promoción y difusión de nuevas tecnologías, la Industria 4.0 o la misma inteligencia artificial entre distintos actores estatales?**

En los consejos en los que participé comenzamos a promover fuertemente la labor de la innovación y la economía basada en el conocimiento. En el Implan, en 2013, me invitaron a ser asesora de Rumbo Económico para la actualización del Plan Municipal de Desarrollo 2040 y estos temas formaron parte de los objetivos.

Después, en 2018, Héctor López Santillana, presidente municipal, me invitó al Consejo Consultivo de Innovación y Creatividad y ahí se hizo una comisión sobre industria 4.0 que yo encabezé. Ahí conocí a otros actores involucrados en el tema: Selene Diez, CEO de Forte Innovation, Omar Silva Palancares, Antonio Reus, Jorge García, Alejandro Álvarez y muchos otros.



**¿Qué retos supone fundar y coordinar una revista tan prestigiosa como Entreciencias?**

Mi antecedente con *Entreciencias* se encuentra en los instrumentos de política que diseñé cuando fui funcionaria del Concyteg, entre los que se encontraba la revista *Ideas Concyteg*. Ésta era una publicación con números mensuales temáticos, para la que buscaba editores que se hicieran cargo de un número, al que yo le daba la revisión final. Éstos fueron investigadores con prestigio a nivel nacional e internacional, por ejemplo: Gabriela Dutrénit, Manuel Garzón Castrión, Aurea Valerdi, María de Ibarrola y muchos más. Mientras estuve en el Consejo edité más o menos 70 números.

Cuando me incorporé, en 2012, a la ENES León, le propuse al entonces director, el doctor Javier de la Fuente Hernández, la creación de una publicación científica multidisciplinaria, le gustó la idea y me planteó que ese fuera mi proyecto. Yo ya tenía la experiencia de *Ideas Concyteg*, así que, con mi conocimiento editorial y su capacidad de convocatoria al interior de la UNAM, yo estaba recién llegada a la institución, comenzamos a plantear ideas para la edición.

Propuse un comité científico en el que participaron prestigiosos investigadores, entre ellos el doctor Eduardo Ibarra (QEPD) y la doctora Hebe Vessuri, quienes propusieron el nombre. Desde el principio pensé que estuviera inscrita en todos los índices de calidad como el de Conacyt, así que trabajé en un proyecto editorial en el que se cubrieran los requisitos. La experiencia me gustó también porque gozo de crear cosas donde quiera que llegue. Esta revista ha sido una buena creación, se encuentra ya en



18 bases de datos y estamos por entrar a la de Web of Science, que nos mandó las recomendaciones necesarias para seguir con el proceso de la evaluación.



**¿Qué le ha dado la ENES a la doctora Martínez y usted qué le ha dado a la ENES?**

En principio la ENES me dio la oportunidad de ingresar al ecosistema de la UNAM, que brinda numerosas oportunidades a sus integrantes. Soy de las fundadoras de la ENES y en los 12 años que he laborado aquí he recibido financiamiento en cinco proyectos PAPIIT y cinco PAPIME, me han becado también para hacer mi sabático. Me han dado el espacio donde he creado y me he desarrollado.

Creo que toda mi consolidación como investigadora y docente ha sido gracias a la UNAM, estar aquí nos da a profesores e investigadores muchísimo prestigio que

tenemos que aprovechar. Me ha dado también la oportunidad de realizar muchos eventos, uno de ellos el Seminario de Industria 4.0 y Convergencia Tecnológica (Sincotec), en el que convoqué a todos los actores que participan del ecosistema de innovación, donde he promovido los temas de la industria 4.0, inteligencia artificial generativa, electromovilidad, entre otros. Al Sincotec asisten no sólo investigadores, también empresas, tomadores de decisiones y estudiantes.

Diseñé el Talents and Innovation Forum (TIF), evento de emprendimiento que en 2025 va a cumplir diez años, en el que he logrado involucrar a los actores impulsores del emprendimiento en Guanajuato. En la ENES he aprendido a hacer de todo: investigación, docencia, trabajo editorial, difusión y a crear un ambiente propicio para el desarrollo de distintas actividades. Esto último me encanta pues es lo que he hecho siempre. La UNAM no sólo ha sido mi casa académica, sino el motor que ha impulsado cada una de mis metas profesionales y personales. Esta institución me ha permitido ser más que una profesora o

investigadora: me ha dado el privilegio de ser un nodo de convergencia, de tender puentes entre estudiantes, empresas y tomadores de decisiones que me han ayudado a construir un ecosistema de innovación vibrante y sostenible.

Estoy convencida de que la UNAM no sólo transforma a quienes tenemos la fortuna de ser parte de ella, sino que también nos inspira a transformar a los demás. En cada aula, proyecto o evento que organizo, mi objetivo es reflejar la grandeza de esta universidad y retribuir todo lo que me ha dado. Sueño con un futuro donde mi trabajo siga contribuyendo al prestigio de la UNAM, al formar generaciones que entiendan el valor del conocimiento, la colaboración y la innovación como herramientas para cambiar el mundo. Y mientras pueda aportar mi granito de arena, lo haré con la misma pasión que me acompaña desde el primer día en que descubrí el privilegio de decir: soy UNAM.

**Mil gracias, doctora Martínez.**

[Descarga aquí nuestra versión digital.](#)



# Agua

para lograr el  
desarrollo sustentable

**E**l agua es considerada un recurso natural imprescindible, primordial en el concepto de desarrollo sustentable (Cantú-Martínez, 2018). Es precursor del progreso social y económico, coadyuva a mantener de forma saludable los ecosistemas, pero particularmente porque permite la supervivencia del ser humano (García, 2006). Además, es vital al abatir una carga de padecimientos en el mundo, contribuyendo a la salud de las personas, su bienestar y productividad de las comunidades, fortaleciendo una serie de bienes naturales y servicios ecosistémicos que gozamos.

Por tanto, es básica en la sustentabilidad de nuestra sociedad. Esto ha sido ratificado desde septiembre 25 de 2015, al aparecer en los objetivos del desarrollo sustentable, en el ODS 6, con el fin de resguardar y proteger la vida en el planeta (Cantú-Martínez, 2016). Así, este recurso se halla medularmente en el cumplimiento de estos objetivos, establecidos por los líderes del mundo con el fin de erradicar la pobreza, fortalecer la equidad y crear las condiciones de continuidad de la vida, y que serán evaluados en 2030. Con el fin de conocer los avances en materia de cumplimiento de estos 17 objetivos, que abordan soluciones a las problemáticas del presente, y condicionan las circunstancias de vida en el futuro.

**Pedro César Cantú-Martínez\***

ORCID: 0000-0001-8924-5343

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

Contacto: cantup@hotmail.com



Por consiguiente, el agua es vital en los procesos fisiológicos de las personas y de todo organismo, como podríamos suponer, pero también para acercarnos a un modelo de sustentabilidad que preserve el entorno natural y garantice las condiciones salubres de las redes hidrográficas (Cantú-Martínez, 2012). Por tanto, mantenerla supone un gran reto, pero, gestionada de forma eficiente, es un componente relevante de la resiliencia de todo sistema socioeconómico y ecológico, frente a crisis inesperadas por el cambio climático.

Por este motivo, la abordaremos como elemento para alcanzar el desarrollo sustentable. Por lo que argumentaremos su impacto en la salud, el papel que cumple en la seguridad alimentaria, las condiciones de escasez y contaminación, para concluir con algunas consideraciones finales.

## AGUA Y SALUD

La relevancia del agua es enorme, sería imposible enumerar los procesos en que interviene de manera ecosistémica u orgánicamente. No obstante, abordaremos algunos aspectos relacionados con el consumo que hacemos y el bienestar de los ecosistemas. En primera instancia, el Instituto Nacional de Salud Pública en México (2022) documenta que en nuestra constitución corporal es primordial porque sin ella no podría llevarse a cabo ninguna función, afirmando que interviene mayormente en el transporte de nutrientes, distintos mecanismos bioquímicos y regula la temperatura corporal, entre otras funciones. De tal manera que para mantenerse hidratado es necesario beber dos litros diarios, equivalente a ocho vasos al día. Lo cual es variable, según nuestra condición y estilo de vida, el entorno climatológico donde vivimos, entre otros aspectos.

En tanto, en los procesos ecosistémicos el líquido que circula por ríos, lagos, mares y océanos se convierte en sostén de la biodiversidad. Cumpliendo un papel funcional en los ciclos biogeoquímicos en la naturaleza (González, 2013).

Esto da las particularidades de calidad que posteriormente permiten la estabilidad de los ecosistemas receptores de estas escorrentías, al aportar nutrientes y fertilidad a suelos como zonas litorales, donde es exuberante la vida. Esta salud se observa en sitios del territorio mexicano, los cuales se distinguen en tres tipos: tulares, manglares, popales y petenes (Semarnat, 2012).

## AGUA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

El agua es un elemento clave en la conservación de hábitats y ecoservicios. Un servicio primordial que incide en la seguridad alimentaria. La abundancia hídrica se constituye en la causa principal de contar con una variedad de productos que satisfagan las necesidades de consumo y nutrición de las personas. Al respecto, las Naciones Unidas (2014, párr. 1) aseveran:

El agua es fundamental para la seguridad alimentaria [...] La agricultura requiere grandes cantidades para regadío [...] El sector agrícola se posiciona como el mayor

consumidor del planeta dada su función productiva [...] El regadío demanda hoy en día cerca del 70% del agua dulce extraída para uso humano.

La actividad agrícola mediante regadío cuenta con una extensión de 280 millones de hectáreas mundialmente, genera el 44% de la producción de alimentos y se estima que en 2030 su contribución será de 55% (Banco de Desarrollo de América Latina, 2015). Con tales tendencias, en 2030 más de la mitad del rendimiento agropecuario procederá de dichas condiciones de siembra que inducirán a un idóneo manejo del recurso hídrico.

Por esta razón, se requiere una gestión adecuada que ayude a erradicar la pobreza y las hambrunas en el mundo. De esta manera, el binomio agua y alimentos es crucial en nuestra sociedad, ya que ambos son catalogados como esenciales para la vida humana. Habrá que considerar que la primera participa en los sistemas de comestibles desde la producción, procesamiento y preparación (Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, 2021). Esto implica mayor eficiencia en su uso si se desea mejorar los resultados.

## ESCASEZ Y ESTRÉS HÍDRICO

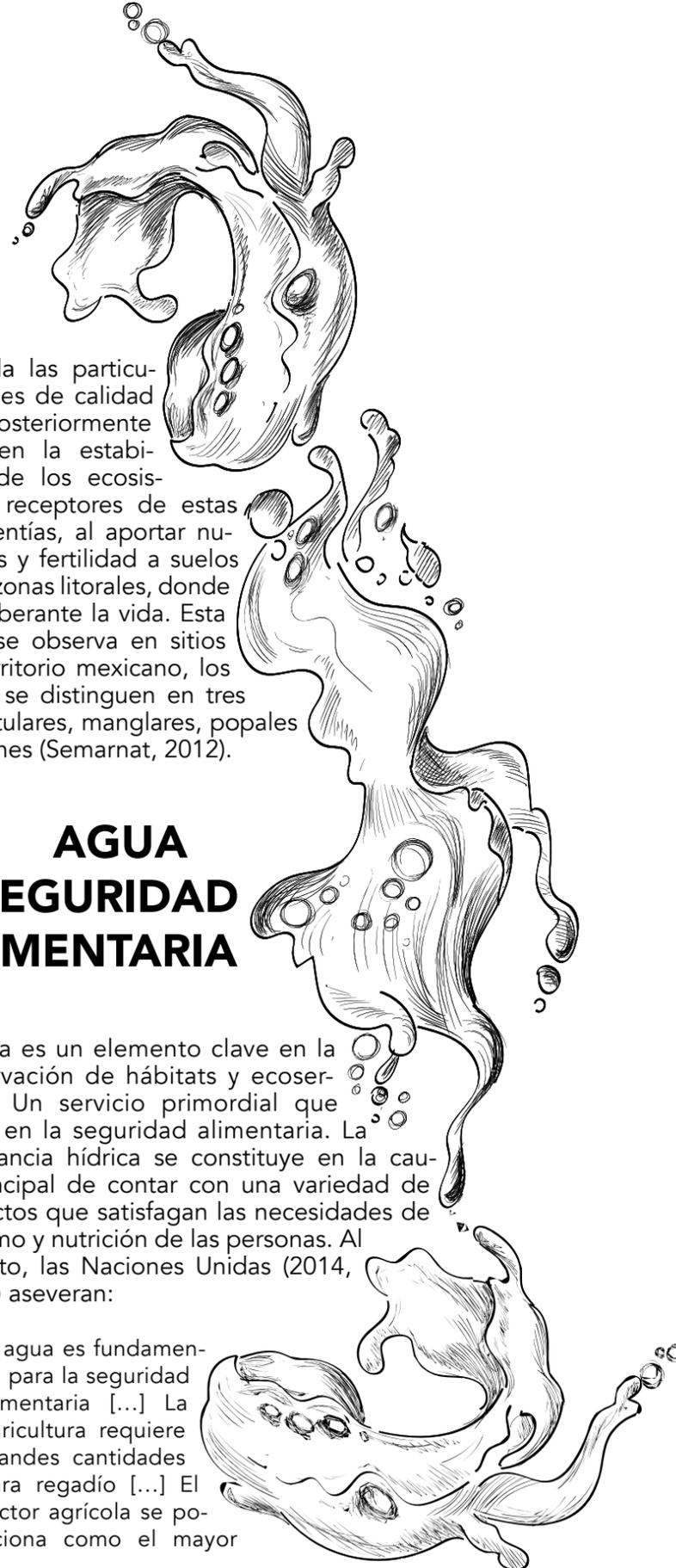
La influencia del ser humano sobre el ciclo hidrológico es cada vez mayor, ya que subsisten evidencias que representan impactos en las fluctuaciones del clima, en excesivas explotaciones de mantos acuíferos y en la exi-

gencia de irrigación de campos agrícolas, entre otros aspectos (Bierkens, 2015). Estas presiones dan génesis a una demanda que supera los volúmenes de reserva con que contamos, produciéndose en primera instancia la escasez y posteriormente el denominado estrés hídrico (Padilla, 2012).

Las causas de la falta de agua son multifactoriales, entre otras se encuentran la urbanización, incremento poblacional, los procesos de producción industrial y una deficiente eliminación de residuos. Por este motivo, los organismos internacionales construyen un diálogo con distintos sectores sociales que buscan alzar políticas en materia de gestión, soportadas en bases científicas que conlleven una mejor planificación hídrica (Naciones Unidas, 2023).

Se sabe que es fundamental para un entorno sanitariamente adecuado, el crecimiento económico y la sostenibilidad de las funciones naturales. Tan sólo el 0.01% del agua dulce es aprovechada por el ser humano, dejando evidencia de que el abastecimiento es limitado. De acuerdo con la ONU-Hábitat (2021), los cinco países que consumen más litros en promedio per cápita son: Estados Unidos (575), Australia (493), Italia (388), Japón (374) y México (366). Estas cifras aumentarán en derredor del 40% por factores asociados al cambio climático y la acción humana.

En este contexto, el Banco Mundial (2023) argumenta que, frente a la escasez y el estrés hídrico, es pertinente cambiar la manera de observar el recurso al tomar decisiones documentadas, resignificar su valor y gestionarlo apropiadamente. Atender estas



## CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y SU DETERIORO

La contaminación del agua surge cuando sustancias, naturales o no, se presentan en cantidades que pueden alterar su calidad. Así, tenemos los productos químicos, microorganismos, residuos –sólidos o líquidos– que degradan este recurso y la vuelven adversa para los seres humanos y el resto de los componentes de flora y fauna. En este sentido, Nunez (2024) hace saber que la contaminación del agua se puede evidenciar mediante una pérdida de calidad.

Esta declinación se convierte en eventualidades ambientales, con connotaciones socioeconómicas. Dado que este deterioro ocasiona peligros para el bienestar de las personas. Al respecto, la Organización Mundial de la Salud (2023, párr. 2) hace el recuento de que en “2022 había en el orbe al menos 1,700 millones de personas que tomaban agua de fuentes contaminadas con heces”.

consideraciones se torna prudente si se desea acceder a la sostenibilidad ante el hecho que el mundo se haya interconectado mediante este recurso vital, cuyas tensiones ya son ostensibles en lo local y en lo global.

Por consiguiente, dicha corrupción sobrelleva la pérdida de biodiversidad y alteración del hábitat, ya que la cantidad excesiva de materia orgánica hace proliferar microalgas que paulatinamente causan la disminución de los niveles de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, originando un medio de vida eutrófico e hipóxico que desencadena esencialmente lo que se denomina zonas muertas. Guzmán (2021) menciona que en el mundo coexisten muchas, pero dos de gran envergadura destacan. La primera se halla en el Golfo de Omán, en los litorales de Arabia, y la segunda en el Golfo de México, frente a la desembocadura del cauce del Río Mississippi.

Finalmente, son evidentes las repercusiones socioeconómicas; así el Banco Mundial (2019) hace alusión que carecer de agua limpia constituye en los países un factor que condiciona el crecimiento económico, empeora la salud de las personas y la calidad sanitaria del ambiente, tanto en naciones industrializadas y en desarrollo.

## CONSIDERACIONES FINALES

El agua representa un factor esencial para el florecimiento humano. Desde tiempos antiquísimos, las personas se han situado cerca de algún cauce de este líquido, que perdurablemente ha representado un recurso vital y de riqueza. Inclusive ha personificado deidades que han sido veneradas, al tratarse como un elemento sagrado proporcionado por la naturaleza. Esto no ha cambiado en los tiempos actuales, y hoy se le considera un elemento medular que permite acceder al desarrollo sustentable.

Es un recurso natural que contribuye a la perennidad del enriquecimiento ecológico y de la prosperidad de los seres humanos. Al punto que su valor simbólico ha aumentado de manera extraordinaria al saberse todos los atributos que tiene y las condiciones de bienestar que brinda. Entre estos aspectos, según se ha hecho saber, involucra el avance social, el desarrollo económico y el sostenimiento de los sistemas naturales y sus servicios ecosistémicos. De esta manera, el agua puede contemplarse como el anclaje de todos los eslabones que nos permitirán alcanzar la sustentabilidad.

## REFERENCIAS

- Banco de Desarrollo de América Latina. (2015). *Agua y seguridad alimentaria*, Corporación Andina de Fomento.
- Banco Mundial. (2019). *El deterioro de la calidad del agua reduce en un tercio el crecimiento económico en algunos países, según el Banco Mundial*, <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2019/08/20/worsening-water-quality-reducing-economic-growth-by-a-third-in-some-countries#:~:text=El%20deterioro%20de%20la%20calidad%20del%20agua%20frena%20ese%20crecimiento,presidente%20del%20Grupo%20Banco%20Mundial>.
- Banco Mundial. (2023). *Agua. Panorama general*, <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>
- Bierkens, Marc F. P. (2015). Global hydrology 2015: state, trends, and directions, *Water Resour*, Res. 51, 4923-4947.
- Cantú-Martínez, Pedro C. (2012). Medio ambiente y salud: un enfoque ecosistémico, *Ciencia UANL*, 15(57), 26-32.
- Cantú-Martínez, Pedro C. (2016). Los nuevos desafíos del desarrollo sustentable hacia 2030, *Ciencia UANL*, 19(80), 27-32.
- Cantú-Martínez, Pedro C. (2018). Sustentabilidad basada en la naturaleza: el caso del agua, *CienciaUANL*, 21(88), 18-22.
- Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola. (2021). *¿Por qué el agua es esencial para los sistemas alimentarios sostenibles?*, <https://www.ifad.org/es/web/latest/-/por-que-el-agua-es-esencial-para-los-sistemas-alimentarios-sostenibles>
- García, Patricia A. (2006). El valor social y cultural del agua, *Gestión y Cultura del Agua*, 2, 233-248.
- González, J. (2013). *Ecohidrología: el agua y los procesos ecosistémicos*, <https://www.unicen.edu.ar/content/ecohidrolog%25C3%25AD-el-agua-y-los-procesos-ecosist%25C3%25A9micos>
- Guzmán, Fernando. (2021). *Zonas muertas en los océanos: qué son y por qué aumentan*, <https://www.gaceta.unam.mx/zonas-muertas-en-los-oceanos-que-son-y-por-que-aumentan/#:~:text=Las%20dos%20grandes%20zonas%20muertas,a%20proliferar%20en%20otras%20zonas%E2%80%9D>
- Instituto Nacional de Salud Pública. (2022). *Agua: clave para la salud y el bienestar*, <https://www.insp.mx/avisos/agua-clave-para-la-salud-y-el-bienestar>
- Naciones Unidas. (2014). Agua y seguridad alimentaria. [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/food\\_security.shtml#:~:text=El%20agua%20es%20fundamental%20para,para%20los%20distintos%20procesos%20productivos](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/food_security.shtml#:~:text=El%20agua%20es%20fundamental%20para,para%20los%20distintos%20procesos%20productivos).
- Naciones Unidas. (2023). *Escasez de agua, crisis climática y seguridad alimentaria mundial: un llamamiento a la acción colaborativa*, <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/>

escasez-de-agua-crisis-clim%C3%A1tica-y-seguridad-alimentaria-mundial-un-llamamiento-la  
 Nunez, Christina. (2024). *La contaminación del agua constituye una crisis mundial creciente. Esto es lo que hay que saber*, <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/contaminacion-del-agua>  
 Organización de Naciones Unidas-Hábitat. (2021). *Comprender las dimensiones del problema del agua*, <https://onuhabitat.org.mx/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua>  
 Organización Mundial de la Salud. (2023). *Agua para consumo humano*, <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>  
 Padilla, Esther. (2012). La construcción social de la escasez de agua: una perspectiva teórica anclada en la construcción territorial, *Región y Sociedad*, 24(spe3), 91-116.  
 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). *Agua. Servicios ambientales de los ecosistemas acuáticos*, [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12/06\\_agua/cap6\\_5.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_5.html)

[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](mailto:revista.ciencia@uanl.mx) para mayor información



SECRETARÍA DE  
INVESTIGACIÓN  
CIENTÍFICA Y  
DESARROLLO  
TECNOLÓGICO

DI DIRECCIÓN DE  
INVESTIGACIÓN



# COLABORADORES

## **Alejandra E. Arreola Triana**

Bióloga por la UANL. Maestra en Ciencias en Periodismo de Ciencia y Tecnología por la Texas A&M. Imparte cursos de Filosofía y Comunicación de la Ciencia y escritura académica en la FCB-UANL.

## **Alethia Vázquez Morillas**

Ingeniera Química por la UAM-Azcapotzalco. Maestra en Ciencias en Integración de Procesos por la Universidad de Manchester. Doctora en Ciencias e Ingeniería Ambientales por la UAM-Azcapotzalco. Profesora investigadora en el Departamento de Energía de la UAM-Azcapotzalco. Desarrolla investigación relacionada con residuos plásticos y otras corrientes de residuos de manejo especial, a través de la colaboración con gobiernos locales, empresas y asociaciones civiles. Dirige proyectos relacionados con la caracterización de residuos sólidos, el comportamiento de residuos plásticos en sistemas de composteo y rellenos sanitarios, así como sobre la presencia de microplásticos y residuos en distintos ecosistemas.

## **Ana Laura Tecorralco Bobadilla**

Ingeniera ambiental y maestra en Ciencias e Ingeniería Ambientales por la UAM. Miembro evaluador de la Entidad Mexicana de Acreditación. Ha trabajado en temas relacionados con composteo, caracterización de suelo, gestión de residuos sólidos y análisis de ciclo de vida.

## **Aracelia Alcorta García**

Doctora en Ingeniería Física Industrial por la UANL. Realizó una estancia postdoctoral en la Universidad de California, San Diego. Profesora titular en el Programa de Ingeniería Física Industrial de la UANL. Fundó el Programa de Posgrado en Ciencias con Orientación en Matemáticas. Su área de investigación se centra en matemáticas aplicadas, específicamente en control no lineal *risk-sensitive* estocástico. Miembro del SNII, nivel I.

## **Brenda Leticia Escobedo Guajardo**

Química clínica bióloga, maestra y doctora en Microbiología, por la UANL. Investigadora de tiempo completo en el IMSS. Sus líneas de investigación se enfocan en la caracterización genética de virus respiratorios, así como en aspectos clínicos de la enfermedad viral con fines epidemiológicos. Miembro del SNII, nivel I.

## **Carolina Palestino Frías**

Licenciada en Biotecnología genómica por la UANL. Redactora en investigación clínica en Axis Heilsa S. de R.L de C.V

## **Diana Elia Caballero Hernández**

Profesora titular en la FCB-UANL. Doctora en Ciencias por la UANL. Responsable de la Unidad de Investigación en Neuroinmunomodulación en el Laboratorio de Inmunología y Virología de la FCB. Cuenta con perfil deseable Prodep. 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, cultura y estudios sociales de la innovación. 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.

## **Melina Sarahid García**

Licenciada en Letras Mexicanas por la UANL. Estudió en la Escuela Metodológica Nacional para el Desarrollo Comunitario en Jalisco. Promotora editorial y analista de educación cívica en el IEEyPC de Nuevo León, colabora en la revista *Punto Dorsal*, enfocada en la divulgación de la ciencia política. Responsable del proyecto de intervención comunitaria "Ruta 365 Camión de la Ciudadanía".

## **Melissa del Carmen Martínez Torres**

Licenciada en Letras Hispánicas por la UANL. Editora responsable de la revista *Ciencia UANL*.

## **Nora Elizondo Villareal**

Ingeniera química y doctora en Ciencias en Química, con especialidad en Fisicoquímica, por la UANL. Profesora titular C en la FCFM-UANL. Ha sido investigadora visitante en la Universidad de Texas en Austin, y profesora visitante en la Universidad del Norte de Texas. Su línea de investigación se centra en nanotecnología. Miembro del SNII, nivel I.

## **Pedro César Cantú-Martínez**

Doctor en Ciencias Biológicas por la UANL. Doctor Honoris Causa, con la Mención Dorada Magisterial, por el OIICE. Trabaja en la FCB-UANL y participa en el IIN-SO-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. Cátedra Conahcyt en el Cinvestav-IPN. 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, análisis de ciclo de vida, economía circular y sostenibilidad aplicados a tratamiento de residuos orgánicos y procesos de biorrefinería. Miembro del SNII, nivel I.

## **Rosa María Estrada Martínez**

Licenciada en Física y maestra en Ingeniería en Física Industrial por la UANL. Doctoranda en Ingeniería Física en Contaminación Atmosférica, Nanotecnología y Química Verde. Participa en congresos nacionales e internacionales y en actividades divulgación "Mujer en la Ciencia".

# 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, entendiéndose 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 aunadas 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 presentados 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, posteriormente 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.

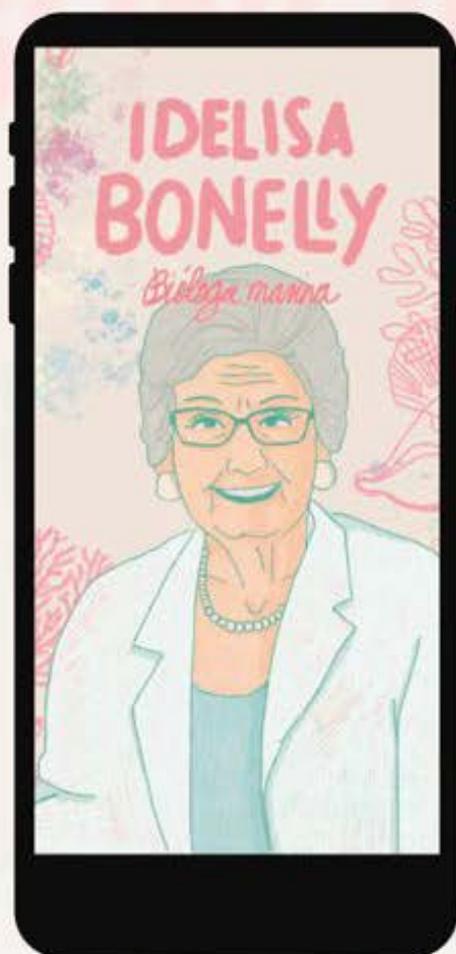


### Notas importantes

- 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 remitirse a la dirección de correo:  
revista.ciencia@uanl.mx  
o bien a la siguiente dirección:  
Revista Ciencia UANL. Dirección de Investigación, Av. Manuel L. Barragán, Col. Hogares Ferrocarrileros, C.P. 64290, Monterrey, Nuevo León, México.  
Para cualquier comentario o duda estamos a disposición de los interesados en:  
Tel: (5281)8329-4236. <http://www.cienciauanl.uanl.mx/>

# ¡SÍGUENOS EN NUESTRAS REDES SOCIALES!



Instagram: @revistaciencia\_uanl



Facebook: RevistaCienciaUANL



VISIÓN UANL  
2040

La excelencia  
por principio  
la educación  
como instrumento



Indexada en: PERIÓDICA  

 **ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS**  
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

 **CUIDEN**

 **latindex**  
CATÁLOGO HEMEROTÉCA LATINOAMERICANA