

# AZCATL

Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

Año 4. Número 7. Enero-junio de 2026, DOI: [10.24275/AZC20267A](https://doi.org/10.24275/AZC20267A)



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Dr. Gustavo Pacheco López  
*Rector general*

Dra. Esthela Irene Sotelo Núñez  
*Secretaria general*

**UNIDAD AZCAPOTZALCO**  
 Dra. Yadira Zavala Osorio  
*Rectora de Unidad*

Mtro. Salvador Ulises Islas Barajas  
*Secretario de Unidad*

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**  
 Dr. Rafael Escarela Pérez  
*Director de División*

Dra. Maricela Claudia Bravo Contreras  
*Secretaria académica*

C.P. Rosa Ma. Benítez Mendoza  
*Jefa de la Oficina de Producción Editorial y Difusión de Eventos*

**AZCATL. REVISTA DE DIVULGACIÓN EN CIENCIAS,  
 INGENIERÍA E INNOVACIÓN**

**COMITÉ EDITORIAL**  
 Dra. Grethell Georgina Pérez Sánchez  
*Presidenta*

M. en C. Carlos Alejandro Vargas  
 Dr. César Augusto Real Ramírez  
 M. en C. Alejandro León Galicia  
 Dr. Aristeo Garrido Hernández

**EQUIPO EDITORIAL**  
 Mtro. Juan Manuel Galindo Medina  
*Dirección en diseño*

D. C. G. Ingrid Sofía Juárez Páez  
*Diseño editorial y de cubierta*

Lic. Liliana Ramírez Nuño  
*Corrección de estilo*

D. A. A. D. María Fernanda Romero Gutiérrez  
*Diseño de la página web*

## Tabla de contenidos

Editorial.....	1
<i>La Antártida bajo amenaza y su importancia para el planeta</i> .....	4
Stephanie Eugenia Ordonez Sanchez	
<i>Un estudio histórico de Marie Curie y Lise Meitner en la era atómica</i> .....	9
Alicia Cid Reborido y Pedro Jesús Díaz Tecanhuey	
<i>La cicatrización de las heridas: un viaje por el proceso que ocurre dentro de tu cuerpo</i> .....	19
Guadalupe Espinosa García y Lorena Elizabeth Chávez-Güitrón	
<i>La transición terapéutica: probióticos para combatir la resistencia antimicrobiana</i> .....	24
Selene García Reyes y Francisca Guadalupe Arcos-García	
<i>Disolventes del futuro al servicio de la humanidad</i> .....	29
Selene Irisais Rivera Hernández, Jorge Iván Aldana González y Alan Aerthon Sampayo Garrido	
<i>Aliados y enemigos químicos en el laboratorio metálico de nuestra vida diaria</i> .....	34
Anaíd Carro Gastelum, Rocío Abigail Gómez Méndez y Sandra Loera Serna	
<i>Proteínas y metano. La ganadería urbana de la CDMX</i> .....	41
Nallely Sánchez López, Pablo Benjamín Razo Ortiz, Germán David Mendoza Martínez y Cesar Díaz Galván	

AZCATL. Año 4, Número 7, enero-junio de 2026, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Prolongación Canal de Miramontes 3855, col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, alcaldía Tlalpan, C.P. 14387, Ciudad de México, México, y, av. San Pablo 420, col. Nueva El Rosario, alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02128, Ciudad de México, México; tel. 55 5318 9528. página electrónica de la revista <https://azcatl.azc.uam.mx/> y dirección electrónica: [gtps@azc.uam.mx](mailto:gtps@azc.uam.mx). Editor responsable: Dra. Grethell Georgina Pérez Sánchez. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título núm. 04-2023-050317153000-102, ISSN: 3061-7510, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Dra. Grethell Georgina Pérez Sánchez, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Unidad Azcapotzalco, edificio P, primer piso, av. San Pablo 420, col. Nueva El Rosario, alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02128, Ciudad de México, México; Fecha de última modificación: 30 de julio de 2026. Tamaño del archivo 23.2 MB.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.



En portada, científicas relevantes a lo largo de la historia de la química:

1. Lise Meitner
2. Marie Curie
3. Marie Maynard Daly
4. Rosalind Franklin
5. Ada Yonath
6. Gertrude Elion
7. Dorothy Hodgkin
8. Irene Curie
9. Stephanie Kwolek



En el comentario editorial del número seis de Azcatl —el primer número temático publicado hace apenas tres meses— los integrantes del equipo que hace posible esta revista no pudimos reprimir nuestro entusiasmo. Ahora tendremos que apelar a su comprensión, apreciados lectores, porque en este número seguimos sin poder ocultar el regocijo. Las razones que lo motivan son las mismas: la respuesta desbordada de las autoras y los autores que envían sus manuscritos continúa superando las expectativas iniciales con las que se planeó esta publicación.

En el comienzo del proyecto editorial de Azcatl nos habíamos propuesto publicar un par de números por año. Ahora estamos seguros de duplicar esa cifra e incluso hemos pensado en encontrar espacio para nuevos números temáticos. El que están por leer es uno más de los números regulares de Azcatl, pero con él nos hemos regalado un placer especial: los siete artículos que lo integran fueron escritos exclusivamente por mujeres.

Uno de los ejes centrales del trabajo que desarrolla la UNESCO —particularmente en América Latina y el Caribe— es la promoción de la equidad de género en el ámbito de la educación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés). En este contexto se conformó el número siete de Azcatl, con las aportaciones de académicas mexicanas que contribuyen a la educación y la investigación científica en disciplinas que impulsan la innovación y promueven el desarrollo sostenible.

Tuvimos una razón más para formar este número con los trabajos de nuestras colegas académicas: el Día Internacional de la Mujer en la Ingeniería, el cual se celebra cada 23 de junio y cuenta con el patrocinio de la UNESCO desde 2016. Es por ello que en esta entrega nuestros lectores encontrarán una sustanciosa muestra de la investigación y la actividad científica de ingenieras y mujeres de ciencia involucradas en la indagación y la comprensión del mundo, la solución de problemas apremiantes, la educación y la difusión del trabajo científico.

El primer artículo nos habla de la Antártida, el continente helado que funciona como el gran termostato que regula la temperatura global de la Tierra, refleja la radiación solar, absorbe dióxido de carbono de la atmósfera e impulsa una red global de corrientes marinas que distribuyen el oxígeno y el calor por los océanos. Lamentablemente, en la actualidad, este territorio enfrenta graves amenazas ambientales, principalmente por el cambio climático y por la actividad humana que lo agrede. En «La Antártida bajo amenaza y su importancia para el planeta» las mujeres que fueron parte de una expedición a este continente, en noviembre 2023, nos hablan de sus experiencias, nos comparten cómo actuar desde nuestra posición para proteger este territorio fascinante y así coadyuvar a la salvación de nuestro planeta.

El 11 de febrero, por iniciativa de la Asamblea General de las Naciones Unidas, se celebra el Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia. Una buena razón para recordar las aportaciones de dos grandes científicas pioneras, cuyas trayectorias presentan notables paralelismos y también contrastes. El segundo trabajo, «Un estudio histórico-comparativo de Marie Curie y Lise Meitner desde la perspectiva de la ciencia, la ética y el género en la era atómica», nos presenta sus logros científicos más importantes. También conoceremos su labor humanitaria y de compromiso con la sociedad, así como las barreras de género que afrontaron en entornos dominados por los hombres.

Cuando nos cortamos o nos vemos afectados por alguna laceración en la piel, nuestro organismo actúa rápidamente para detener el sangrado y cerrar la herida. ¿Alguna vez te has imaginado cómo sucede la cicatrización que permite revertir los daños físicos en nuestra piel? En el tercer artículo, «La cicatrización de las heridas: un viaje por el proceso que ocurre dentro de tu cuerpo», descubrirás este sorprendente mecanismo y cómo se consigue limpiar la zona lastimada, eliminar bacterias, formar piel nueva, reparar el tejido afectado y recuperar la fuerza para, finalmente, volver a proteger nuestro cuerpo.

En el cuarto trabajo, «La transición terapéutica: probióticos para combatir la resistencia antimicrobiana», se analiza la resistencia a los antibióticos y el importante papel del microbioma intestinal. Con esta lectura comprenderemos mejor los beneficios que nos aportan los probióticos, especialmente los del género *Lactobacillus*, como una alternativa para reducir la dependencia de los fármacos. Se explican sus mecanismos de acción, sus posibles aplicaciones terapéuticas y la necesidad de efectuar más estudios que permitan optimizar su uso, así como el tema de su regulación, considerando su potencial para contribuir a la reducción de la resistencia antimicrobiana y mejorar la salud global.

En diversos productos que usamos en el día a día se incorporan disolventes químicos que suelen ser contaminantes e incluso tóxicos. En «Disolventes del futuro al servicio de la humanidad», nuestro quinto artículo, conoceremos la exis-

tencia de líquidos ecológicos y económicos, denominados disolventes eutécticos profundos. Se trata de sustancias biodegradables que cuentan con excelentes características técnicas y tienen un potencial enorme en la medicina, la electrónica y la biotecnología. Estos disolventes inteligentes ya son una realidad científica al servicio de la humanidad.

Los metales están presentes en todas partes y son fundamentales para fabricar varios productos de uso común. Sin embargo, entre ellos hay algunos que representan graves riesgos para la salud, incluso en bajas concentraciones. En el sexto trabajo, «El dilema de los metales en un mundo contaminado», las autoras nos previenen sobre la exposición al plomo, el mercurio, el cadmio y el arsénico; aprenderemos a conocer estos elementos metálicos, a distinguirlos entre esenciales y tóxicos y cómo evitar los efectos nocivos de su exposición prolongada.

La obtención de alimentos que nos son muy apreciados, como la carne, la leche y el huevo —y de materias primas asociadas, como lana, cuero y plumas— constituyen una actividad industrial de gran relevancia económica y social. Finalmente, nuestro séptimo artículo, «Proteínas y metano. La ganadería urbana de la CDMX», muestra que la explotación de animales, con fines comerciales o de consumo humano, tiene fuertes implicaciones que no se pueden ignorar, lo mismo éticas que sociales, de salud y de impacto en el ambiente. En la Ciudad de México y su zona metropolitana se desarrolla una intensa actividad pecuaria que hace necesario considerar estrategias de mitigación para mejorar su eficiencia, reducir las emisiones que afectan el ambiente y asegurar la sostenibilidad de esta industria.

Les deseamos la mejor experiencia con la lectura de estos apasionantes trabajos, los cuales esperamos que sacien la curiosidad y el deseo de aprendizaje de nuestros lectores. Que en un futuro, una joven científica mexicana recuerde haber leído con placer un artículo que le ayudó a convencerse de su elección por el campo de la STEM.



## La Antártida bajo amenaza y su importancia para el planeta

**Stephanie Eugenia Ordonez Sanchez**

University of Strathclyde

[s.ordonez@strath.ac.uk](mailto:s.ordonez@strath.ac.uk)

### Resumen

Este artículo narra los aprendizajes que se adquirieron durante una expedición de 100 mujeres a la Antártida en 2023 como parte del programa Homeward Bound, un proyecto enfocado en liderazgo femenino y cambio climático. Asimismo, describe la importancia ecológica del continente, su historia de explotación y la amenaza actual por la pesca industrial. Además describe los tratados internacionales que se han establecido para controlar las operaciones que se realizan en la Antártida, resaltando el papel clave de este continente como regulador climático global, gracias a su capacidad de reflejar la radiación solar, mover corrientes oceánicas y absorber CO<sub>2</sub>.

### Palabras clave

Antártida, cambio climático, mujeres en STEM.

### Abstract

This article describes the lessons learned from the 2023 expedition of 100 women to Antarctica as part of the Homeward Bound program, which focuses on female leadership and climate change. The article explains the continent's ecological importance, its history of exploitation, and the current threat posed by industrial fishing. It also outlines the international treaties used to regulate activities in Antarctica. Additionally, it highlights the continent's key role as a global climate regulator, given its ability to reflect solar radiation, drive ocean currents, and absorb CO<sub>2</sub>.

### Keywords

Antarctica, climate change, women in STEM.

APA: Ordonez, S. (2026). La Antártida bajo amenaza y su importancia para el planeta. *Azcatl*, 7, 4-8, DOI: [10.24275/AZC2026A001](https://doi.org/10.24275/AZC2026A001)

Fecha de recepción: 18 de julio de 2025.

Fecha de aceptación para publicación: 21 de mayo de 2026.

## La Antártida a través de los años

La Antártida es uno de los continentes más grandes del mundo: con 14 200 000 km<sup>2</sup> tiene una extensión territorial 13 veces más grande que México. Este artículo relata los aprendizajes obtenidos durante una expedición a la Antártida de 100 mujeres, en noviembre de 2023, como parte del programa Homeward Bound sobre liderazgo para mujeres en áreas de ciencia, tecnología, ingeniería, matemáticas y medicina (STEMM, por sus siglas en inglés) y con un enfoque en el cambio climático.

El primer encuentro que se tuvo con el continente fue en 1820 y desde entonces se convirtió en una zona altamente explorada y explotada. En un principio se propagó la cacería comercial de ballenas y focas, práctica que casi termina con poblaciones enteras de estos mamíferos marinos debido a las grandes reservas de aceite que se utilizaban para prender lámparas e inclusive como combustible para usos de transporte. Incluso hoy en día esta región sigue siendo altamente explotada por su riqueza en biodiversidad. La industria pesquera, por ejemplo, ha aumentado la pesca del camarón antártico o *krill* en un 400 % en las últimas dos décadas, según Greene (2024). El consumo de estos crustáceos se ha incrementado debido a su uso para suplementos alimenticios, cosméticos o alimento de acuicultura. Desafortunadamente, la pesca a gran escala ha dado pie a que la población de ballenas de nuevo se encuentre en peligro de extinción debido a la escasez de su único alimento (Savoca *et al.*, 2024). Hay que recordar que las ballenas son vitales para transferir nutrientes esenciales cuando se dispersan en sus migraciones estacionales a distintas latitudes y profundidades, ya que su excremento actúa como fertilizante oceánico, cumpliendo un papel fundamental en la conservación del océano (Murphy *et al.*, 2021); pero entonces ¿quién regula la Antártida, una zona vital para el planeta, y cómo se puede proteger?

No hay un gobierno establecido en este continente, sin embargo, en 1959 se estipuló el Tratado Antártico (Secretariat of the Antarctic Treaty, 2025), el cual se firmó por siete países en un principio, pero ahora un grupo de 54 naciones forman parte de este sistema de gobierno. Algunos de los puntos clave de este tratado demarcan

que en la Antártida cualquier actividad debe ser realizada exclusivamente con fines pasivos, es decir, cualquier acción militar está prohibida, así como el uso de explosivos nucleares o residuos radiactivos. Asimismo, este acuerdo también alienta la cooperación científica y, con ello, que toda la investigación que se produzca sea de libre acceso.

Además de este tratado existe la Asociación Internacional de Operadores Turísticos de la Antártida (IAATO, por sus siglas en inglés), cuyo objetivo es controlar las operaciones turísticas en el continente, desde cómo evitar el ingreso de especies invasoras cuando se realizan visitas a tierra firme hasta el establecimiento de rutas de navegación de barcos turísticos para minimizar perturbaciones a la fauna marina (International Association of Antarctic Tour Operators, 2025). Por ejemplo, durante nuestra visita a la Antártida debíamos desinfectar nuestras botas de expedición cada vez que pisábamos tierra firme, con el fin de evitar la introducción de contaminantes en el ecosistema. Otro lineamiento indicaba mantener una distancia mínima de cinco metros respecto de los pingüinos y otros mamíferos para reducir el riesgo de transmisión de enfermedades (véanse las Figura 1.).

La principal diferencia entre el Tratado Antártico y la IAATO es que el primero consiste en un acuerdo internacional que delinea las intervenciones en el continente en sentido amplio, es decir, para fines militares y de investigación, así como para fines turísticos: rutas de navegación y prácticas de visitantes.

## La Antártida: nuestro regulador climático

Aunque no existen poblaciones nativas en el continente, su importancia global atrae aproximadamente 10 000 visitantes al año con fines de investigación (British Antarctic Survey, 2025). Actualmente, existen alrededor de 70 estaciones científicas en la región, cuya investigación ha sido fundamental para comprender el papel que desempeña la Antártida a nivel global.

Se podría decir que este continente tiene tres importantes funciones: a) su superficie refleja un alto porcentaje de la radiación al espacio, a esto se le llama *alto albedo*; b) las bajas temperaturas del océano son las responsables del movimiento de las corrientes marinas, distribu-



a)



b)

**Figura 1.** Islas Melchior, Antártida. En (a) se ve en la lejanía un grupo de elefantes marinos. Debido a la normativa de la IAATO se mantuvo una distancia segura para prevenir molestarlos y transmitir enfermedades. En (b) se muestra una parte de la expedición.

yendo así los nutrientes en los mares; y c) el océano del sudoeste es un vasto absorbedor de  $\text{CO}_2$ , lo que contribuye a controlar los niveles exorbitantes de carbono generados por las actividades antropogénicas (British Antarctic Survey, 2025).

Hasta ahora, los científicos han determinado que, debido al calentamiento global, la parte occidental de la Antártida desaparecerá inminentemente (Naughten *et al.*, 2023), esto es, gran parte de los sitios mostrados en las Figuras 1 a 3. Según Pan *et al.* (2021), la pérdida de la capa de hielo de la Antártida occidental representaría un aumento medio del nivel del mar de unos cinco metros. Sin embargo, la parte oriental aún muestra estabilidad, la cual se necesita conservar a través de diversas iniciativas globales para reducir el calentamiento global, como el aumento en el uso de energías limpias, la mejora en la eficiencia energética y el fortalecimiento de la protección de áreas naturales. Como individuos, existen muchas acciones que podemos emprender para proteger la Antártida y los océanos. Por ejemplo, mantener una buena salud y hacer ejercicio regularmente contribuye a

reducir el consumo de medicamentos y otros productos químicos que, eventualmente, terminan en el mar. También podemos evitar el sobreconsumo —menos plástico implica menos microplásticos en el océano— y optar por productos elaborados de manera ética, reduciendo así el impacto de prácticas dañinas como la pesca de arrastre.

### **Una visita a la Antártida conlleva responsabilidades**

Debido a la importancia del continente antártico y a los esfuerzos globales para mantenerlo intacto, la labor de los visitantes no debe ser en vano. Cada persona que visita la Antártida tiene la oportunidad de convertirse en un embajador de este continente (International Association of Antarctic Tour Operators, 2025). A través de esta iniciativa se busca compartir experiencias que fomenten el amor y el respeto hacia este territorio, desconocido para muchos, y así promover su protección.

Como trabajo futuro se planea escribir un segundo artículo con aplicaciones de ciencia e ingeniería para contribuir con la protección de la Antártida.



a)



b)

**Figura 2.** Isla Cuverville, Antártida. A distancia se pueden apreciar los pingüinos gentoo y grandes cantidades de guano (a). En (b) se aprecia un acercamiento de estos pingüinos.



**Figura 3.** Orne Harbour, Antártida.

## Agradecimientos

En memoria al maestro en ciencias Gerardo Aragón Gonzalez. Mi más profundo agradecimiento por siempre apoyar a mujeres en STEMM.

## Referencias

- Vaughan, D. G.. (2006). *Antarctica and climate change-implications for governance*. British Antarctic Survey/Natural Environment Research Council. <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/18170/>
- British Antarctic Survey. (2025). *Antarctic factsheet and geographical statistics*. <https://www.bas.ac.uk/science/science-and-society/education/antarctic-factsheet-geographical-statistics/>
- Greene, L. (2024). *Krill fishing boom may threaten antarctic predators and climate crisis mediation*. Food Tank. <https://foodtank.com/news/2024/02/krill-fishing-boom-may-threaten-antarctic-predators-and-climate-crisis-mediation/>
- International Association of Antarctic Tour Operators. (2025). *Visiting Antarctica*. <https://iaato.org/visiting-antarctica>
- Murphy, E. J., Johnston, N. M., Hofmann, E. E., Phillips, R. A., Jackson, J. A., Constable, A. J., Henley, S. F., Melbourne, J., Trebilco, R., Cavanagh, R. D., Tarling, G. A., Saunders, R. A., Barnes, D. K. A., Costa, D. P., Corney, S. P., Fraser, C. I., Höfer, J., Hughes, K. A., Sands, C. J., ...Xavier, J. C. (2021). Global connectivity of southern ocean ecosystems. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9. <https://www.frontiersin.org/journals/ecology-and-evolution/articles/10.3389/fevo.2021.624451/full>
- Naughten, K. H., Holland, P. R. y De Rydt, J. (2023). Unavoidable future increase in West Antarctic ice-shelf melting over the twenty-first century. *Nature Climate Change*, 13, 1222-1228. <https://www.nature.com/articles/s41558-023-01818-x>
- Pan, L., Powell, E. M., Latychev, K., Mitrovica, J. X., Creveling, J. R., Gomez, N, Hoggard, M. J. y Clark, P. U. (2021) Rapid postglacial rebound amplifies global sea level rise following West Antarctic ice sheet collapse. *Science Advances*, 7(18). <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abf7787>.
- Savoca, M. S., Kumar, M., Sylvester, Z., Czapanskiy, M. F., Meyer, B., Goldbogen, J. A. y Brooks, C. M. (2024). Whale recovery and the emerging human-wildlife conflict over Antarctic krill. *Nature Communications*, 15. <https://www.nature.com/articles/s41467-024-51954-x>
- Secretariat of the Antarctic Treaty. (2025). *The Antarctic Treaty*. <https://www.ats.aq/e/antarctic-treaty.html>

## Un estudio histórico de Marie Curie y Lise Meitner en la era atómica

**Alicia Cid Reborido**

Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Azcapotzalco  
[acr@azc.uam.mx](mailto:acr@azc.uam.mx)

**Pedro Jesús Díaz Tecanhuey**

Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Azcapotzalco  
[pjdt@azc.uam.mx](mailto:pjdt@azc.uam.mx)

### Resumen

A raíz del Día Internacional de la Mujer y del Día Internacional de la Niña en la Ciencia es imprescindible recordar las grandes aportaciones en la física de dos destacadas mujeres científicas pioneras, cuyas trayectorias presentan notables paralelismos y también contrastes: Marie Curie y Lise Meitner. Este artículo nos lleva a conocer sus logros científicos más importantes y trascendentales —desde el descubrimiento de elementos radiactivos como el polonio y el radio, así como la teoría de la fisión nuclear y el aislamiento del protactinio— y analizar su impacto en el desarrollo de la física y la química. Además, se examina cómo sus hallazgos marcaron hitos históricos y dieron lugar a nuevos campos de investigación. Se indaga en su labor humanitaria y de compromiso con la sociedad, incluyendo la aplicación de la ciencia en tiempos de guerra; por ejemplo, el uso de rayos x móviles por parte de Marie Curie junto con su hija Irène Joliot-Curie y la negativa de Lise Meitner en participar en el desarrollo de la bomba atómica del Proyecto Manhattan. Asimismo, se visibiliza el reconocimiento que recibieron en vida (como los dos premios Nobel para Curie y otros galardones para Meitner) y póstumamente, así como las barreras de género que afrontaron en entornos dominados por los hombres. Finalmente, se contrasta cómo ambas abrieron camino para futuras generaciones de mujeres científicas, dejando un legado perdurable en la historia de la ciencia.

### Palabras clave

Radiactividad, fisión nuclear, mujeres en la ciencia, historia de la ciencia.

---

APA: Reborido, C. y Díaz, P. (2026). Un estudio histórico de Marie Curie y Lise Meitner en la era atómica. *Azcatl*, 7, 6-15, DOI: [10.24275/AZC2026A002](https://doi.org/10.24275/AZC2026A002)

Fecha de recepción: 3 de abril de 2026.

Fecha de aceptación para publicación: 26 de mayo de 2026.

## Abstract

In light of the International Day of Women and International Day of Women and Girls in Science, it is essential to remember the great contributions to physics made by two pioneering women scientists whose careers show notable parallels as well as contrasts: Marie Curie and Lise Meitner. This article explores their most important and far-reaching scientific achievements—from the discovery of radioactive elements such as polonium and radium, to the theory of nuclear fission and the isolation of protactinium—and analyzes their impact on the development of physics and chemistry. It examines how their findings marked historical milestones and gave rise to new fields of research. It also investigates their humanitarian work and social commitment, including the application of science in times of war, such as Marie Curie's use of mobile X-ray units alongside her daughter Irène Joliot-Curie, and Lise Meitner's refusal to participate in the development of the atomic bomb in the Manhattan Project. The recognition they received during their lifetimes (such as Curie's two Nobel Prizes and other awards granted to Meitner) and posthumously is highlighted, as well as the gender barriers they faced in male-dominated environments. Finally, it contrasts how both women paved the way for future generations of female scientists, leaving a lasting legacy in the history of science.

## Keywords

Radioactivity, nuclear fission, women in science, history of science.

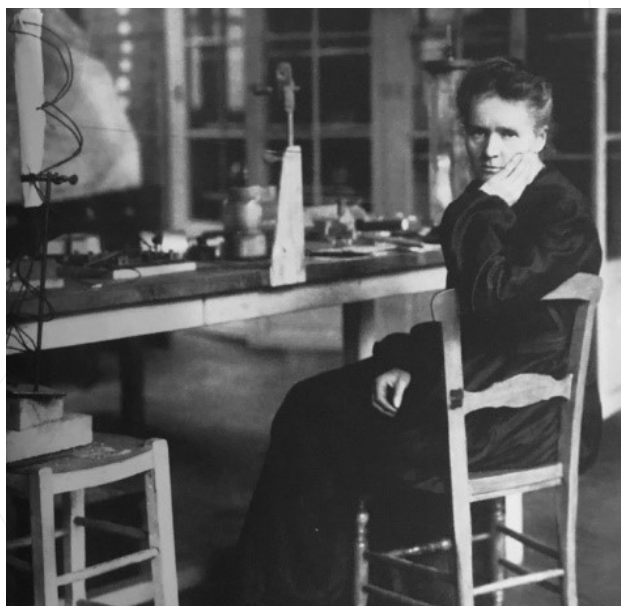
## Introducción

Con base en un estudio de carácter histórico-comparativo, basado en la revisión bibliográfica de fuentes académicas, biografías y artículos especializados sobre ambas científicas, se llevó a cabo una investigación cualitativa, organizando la información en categorías paralelas tanto para Marie Curie como para Lise Meitner (logros científicos obtenidos, impacto disciplinar, labor humanitaria, reconocimientos y obstáculos debido al género). A través de este análisis comparativo se identificaron las semejanzas y las diferencias en sus respectivas trayectorias, evaluando sus contribuciones y su influencia dentro de la comunidad científica. Esta metodología nos permitió contrastar sus vidas y aportaciones de manera estructurada y objetiva, ya que cada afirmación está basada en fuentes documentales confiables.

### Marie Curie: logros, impacto y legado

Marie Skłodowska Curie (1867-1934), de origen polaco, fue una mujer pionera en el estudio de la radiactividad, cuyos descubrimientos revolucionaron la ciencia a comienzos del siglo xx. En 1898, junto con su esposo Pierre Curie, anunció el hallazgo de dos nuevos elementos químicos: el polonio (elemento 84, nombrado así en

honor a Polonia) y el radio (elemento 88) (Adloff, 2011). Estos hallazgos fueron trascendentales, pues mostraron la existencia de la radiactividad natural en nuevas sus-



Marie Curie. Retrato tomado pocos años antes de sus investigaciones iniciales sobre la radiactividad y del reconocimiento internacional por el Premio Nobel de Física de 1903.

Foto: recuperada de [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Marie\\_Curie\\_\(c.\\_1900\)\\_cropped.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Marie_Curie_(c._1900)_cropped.jpg)

tancias más allá del uranio, lo que marcó el inicio de una nueva era en la física y la química nuclear (Ghose, 2024, p. 156). Asimismo, Marie Curie introdujo el término *radiactividad* para describir el fenómeno de las emisiones espontáneas desde el núcleo atómico, lo que contribuyó conceptualmente a fundar un campo científico completamente nuevo (Skwarzec *et al.*, 2023).

Debido a su importante trabajo, Curie logró reconocimiento internacional rápidamente. En 1903 se convirtió en la primera mujer laureada con el Premio Nobel de Física, junto a Pierre Curie y Henri Becquerel, por sus investigaciones sobre la radiactividad natural. Posteriormente, en 1911, fue galardonada en solitario con el Nobel de Química por el descubrimiento y aislamiento del radio y el polonio y por sus estudios sobre las propiedades de estos elementos. Fue así como Marie Curie se convirtió en la única mujer en la historia, hasta la fecha, en recibir dos premios Nobel en disciplinas distintas en tiempos en los que era impensable que una mujer lograría obtenerlos (Adloff, 2011; Skwarzec *et al.*, 2023). En su trabajo experimental, que incluyó el aislamiento de sales de uranio a partir de toneladas de mineral pechblenda, demostró una tenacidad excepcional. Además, estableció métodos para el aislamiento de sales de radio en el estudio de elementos radiactivos. Sus aportes impulsaron el desarrollo de la química nuclear (en la separación de isótopos) y de la física de partículas en sus comienzos (Abergel *et al.*, 2022).

Los descubrimientos científicos de Marie Curie confirmaron que el átomo tenía una estructura interna compleja y podía emitir energía, lo que sentó las bases para la física nuclear y la comprensión de la transformación espontánea de elementos químicos. La unidad de actividad radiactiva *curie* fue nombrada así en honor a Pierre y Marie Curie, esto refleja lo esencial que fue su trabajo para cuantificar la radiactividad. De esta manera, bajo su dirección, se creó en París el Instituto del Radio (inaugurado tras la Primera Guerra Mundial), que se transformó en un centro de referencia mundial en química radiológica y estudios nucleares. Este mismo instituto contribuyó a la formación de nuevos científicos y a descubrimientos como la radiactividad artificial (línea de investigación que continuó su hija Irène Joliot-Curie, obteniendo el Premio

Nobel de Química en 1935 junto a su marido Frédéric Joliot). Marie Curie no sólo extendió el inventario de elementos químicos conocidos, sino que además cambió el modelo científico respecto a la estructura de la materia y a la energía atómica (Adloff, 2011; Abergel *et al.*, 2022).

Es importante resaltar el profundo compromiso humanitario y social que mostró Curie en la aplicación de la ciencia, por ejemplo, durante la Primera Guerra Mundial dejó temporalmente sus investigaciones sobre el radio para dirigir la implementación de unidades móviles de rayos X en el frente de batalla (Barclay, 2022). Construyó los llamados *petites Curies*, pequeños vehículos equipados con aparatos de radiografía para diagnosticar y tratar a soldados heridos, lo que contribuyó a salvar innumerables vidas. Además, formó personal médico (incluyendo enfermeras y técnicos) en el uso de estas tecnologías, asegurando su despliegue eficaz cerca de las líneas de combate. Se ha documentado que realizó más de un millón de radiografías a soldados entre 1914 y 1918 gracias a esta iniciativa, lo que redujo la mortalidad por heridas mal diagnosticadas durante este periodo histórico. Su dedicación llegó al punto de donar el valor íntegro de sus premios Nobel al esfuerzo de la guerra en Francia, financiando con esos recursos la compra de bonos de guerra y equipamiento médico (Adloff, 2011; Barclay, 2022). Estas acciones evidencian su convicción de que la ciencia debía servir al bienestar de la humanidad, más allá del laboratorio. Tras la guerra, continuó promoviendo el uso pacífico de las radiaciones mediante radio (especialmente en la terapia contra el cáncer) y abogó por la colaboración internacional en la investigación científica.

A pesar de su prestigio, Marie Curie enfrentó significativas barreras de género, propias de la época, a lo largo de su carrera. De joven, en Polonia, tuvo que educarse de manera clandestina en la Universidad Volante, debido a las restricciones educativas impuestas a las mujeres en aquel tiempo. Al llegar a París, fue una de las primeras mujeres en estudiar Ciencias en la Universidad de la Sorbona en la década de 1890, en un ambiente inicialmente poco acogedor hacia las mujeres (Obeid El Jamal y Guerra, 2022; Quinn, 2007). En 1906, tras fallecer Pierre, la Sorbona decidió otorgarle su cátedra de Física (Gho-



Marie Curie en su laboratorio de París, 1912. La imagen muestra a la científica trabajando en sus investigaciones sobre la radiactividad, el radio y el polonio.

Foto: recuperada de [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Madame\\_curie\\_3334194920\\_e4014f35a4\\_o.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Madame_curie_3334194920_e4014f35a4_o.jpg)

se, 2024, p. 157); de ese modo, se convirtió en la primera mujer profesora en los 600 años de historia de la Universidad de París. Aquella primera lección impartida por una mujer causó sensación entre los asistentes y rompió un techo histórico en la academia francesa. Sin embargo, en un principio, otros honores le fueron vedados por su género, por ejemplo, en 1911, la Academia de Ciencias de Francia rechazó su candidatura como miembro titular y no admitiría a una mujer hasta varias décadas más tarde (Boudia, 2011). Curie afrontó también el escrutinio público debido a circunstancias por las que sus colegas varones no lo hacían —a través de campañas de difamación en la prensa sobre su vida personal—, no obstante, se mantuvo firme en su trabajo. Su éxito científico en medio de estas dificultades ameritó que, aún en vida, fuera considerada un símbolo del empoderamiento femenino en la ciencia. Inspiró directamente a otras investigadoras, formó a numerosas mujeres en su laboratorio y su propia hija siguió sus pasos hasta ganar un Nobel, confirmando la posibili-

dad de una tradición femenina en la investigación científica (Quinn, 2007).

El legado histórico de Marie Curie es extraordinario. Fue honrada en vida con numerosos premios, doctorados *honoris causa* y homenajes en distintos países y tras su muerte, su prestigio no ha hecho más que crecer. En 1995 sus restos fueron trasladados con honores al Panteón de París, siendo la primera mujer en recibir esa distinción por méritos propios (Quinn, 2007). En su honor se nombró al elemento químico Curio (Cm,  $Z=96$ ), descubierto en 1944 (Seaborg, 1951), así como a instituciones y premios científicos alrededor del mundo (por ejemplo, las becas europeas Marie Skłodowska-Curie, para jóvenes investigadoras e investigadores, llevan su nombre). Esta gran mujer es recordada no sólo por sus dos Nobel y sus descubrimientos pioneros, sino también por su integridad, humildad y perseverancia. Encarnó un modelo de ejercer la ciencia con rigor y sentido humanitario, abrió las puertas de los laboratorios a las mujeres e inspiró generaciones enteras de científicas. Hoy se le considera una figura fundamental en la historia de la ciencia y un ícono del talento femenino en un campo antes reservado a los hombres (Quinn, 2007).

### Lise Meitner: logros, impacto y legado

Lise Meitner (1878-1968), física austriaca de origen judío nacionalizada sueca, fue una pionera de la física nuclear, cuyo trabajo condujo al descubrimiento de la fisión nuclear. Su carrera se desarrolló en paralelo a la de Curie en algunos aspectos, aunque Meitner enfrentó desafíos adicionales por su contexto histórico y personal. Desde joven mostró un talento excepcional para la ciencia, por lo que obtuvo su doctorado en Física en 1906 como la segunda mujer en la historia de la Universidad de Viena en lograrlo (Atomic Heritage Foundation, s. f.). Motivada por el incipiente campo de la radiactividad, se trasladó a Berlín en 1907 para trabajar con el químico Otto Hahn. En sus inicios, en Alemania, se encontró con un entorno fuertemente hostil ante la presencia femenina en la academia, las mujeres tenían prohibido matricularse oficialmente y aunque Max Planck le permitió asistir a sus clases como oyente, ella no podía utilizar libremente los labora-



Lise Meitner en su laboratorio, Berlín, 1931.

Foto: recuperada de <https://www.historytoday.com/archive/great-debates/lise-meitners-nuclear-vision>

torios, se le negó un espacio en los laboratorios principales por ser mujer, por lo que se tuvo que conformar con trabajar en un cuarto improvisado en el sótano del Instituto de Química. Incluso tenía vedado subir al laboratorio de su colega Hahn en el primer piso, así que ambos colaboraban repartiéndose las tareas experimentales —química para Hahn, mediciones físicas para Meitner— desde espacios separados (García, 2015). A pesar de estas condiciones adversas, Meitner y Hahn formaron un equipo muy productivo durante tres décadas, descubrieron juntos numerosos isótopos radiactivos y exploraron las cadenas de decaimiento nuclear. En 1917 lograron aislar el elemento protactinio ( $Z=91$ ), un nuevo elemento químico altamente radiactivo, siendo Meitner codescubridora del mismo. Por este logro recibió, en 1918, la prestigiosa Medalla Leibniz de la Academia de Ciencias de Berlín, un reconocimiento inusual para una científica en ese entonces (Atomic Heritage Foundation, s. f.).

El mayor aporte científico de Lise Meitner llegaría a finales de la década de 1930 con el descubrimiento de la fisión nuclear. En el caótico contexto previo a la Segunda Guerra Mundial, Meitner —quien era de origen judío— debió huir de Alemania, en 1938, debido a las leyes antisemitas del régimen nazi, por lo que tuvo que instalarse en Suecia (Sime, 1997). Sin embargo, mantuvo contacto secreto con Otto Hahn, quien continuó experimentando

con uranio en Berlín. A fines de 1938, Hahn y Fritz Strassmann obtuvieron resultados inesperados al bombardear uranio con neutrones, detectando bario entre los productos de reacción, un hallazgo inexplicable según la química nuclear conocida hasta entonces (Richmond, 2001).

Al conocer estos resultados, Meitner, por su parte, colaboró a distancia con su sobrino Otto Frisch —también físico— para interpretar el fenómeno. En diciembre de 1938, durante una célebre conversación en la nieve, ambos dedujeron que el núcleo de uranio se dividía en dos fragmentos aproximadamente iguales, un proceso completamente nuevo al que denominaron *fisión nuclear*. Mediante la aplicación de la ecuación de Einstein ( $E = mc^2$ ) lograron explicar cuantitativamente la enorme cantidad de energía liberada en el proceso (Meitner y Frisch, 1939). En enero de 1939 publicaron conjuntamente la primera interpretación teórica de la fisión nuclear en la revista *Nature*, aclarando el fundamento físico de los experimentos realizados por Hahn y Strassmann. Este descubrimiento constituyó uno de los hitos científicos más trascendentales del siglo xx, al demostrar la posibilidad de liberar colosales cantidades de energía mediante reacciones nucleares en cadena, lo que sentó las bases tanto para el desarrollo de reactores nucleares con fines energéticos como para la creación de las primeras armas atómicas durante la Segunda Guerra Mundial, marcando así el inicio de la denominada Era Atómica (Richmond, 2001).

Aunque Otto Hahn recibió en solitario el Premio Nobel de Química de 1944 por el descubrimiento experimental de la fisión, la comunidad científica reconoció gradualmente el papel crucial de Lise Meitner. Su impacto en la física quedó en evidencia: fue gracias a la comprensión de Meitner del fenómeno que otros científicos (como Einstein y Szilard) entendieron las implicaciones bélicas y tecnológicas de la fisión que impulsaron el Proyecto Manhattan en Estados Unidos (Atomic Heritage Foundation, s. f.), ya que Meitner se mantuvo fiel a sus principios humanitarios y rehusó tajantemente participar en el desarrollo de la bomba atómica rechazando una invitación a unirse al Proyecto Los Álamos, en 1942 (National Park Service, s. f.): «¡No tendré nada que ver con una bomba!», declaró al ser convocada, anteponiendo consideraciones



Lise Meitner y Otto Hahn en el laboratorio del Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, Berlín-Dahlem, 1913.

Foto: recuperada de <https://www.smythacademy.com/6309/lisa-meitner-meitner/>

éticas a cualquier prestigio o ventaja científica. Este firme posicionamiento le valió la frase en la prensa de «madre judía de la bomba atómica que se negó a construirla» (García, 2015).

Tras la guerra, Meitner continuó trabajando en investigación en Suecia y más tarde en Reino Unido, convirtiéndose en una voz moral dentro de la comunidad científica al abogar por el uso pacífico de la energía nuclear. Otto Frisch fue quien escribió su epitafio: «Lise Meitner fue una física que nunca perdió su humanidad» (Servicio de Parques Nacionales, s. f.). Este epitafio refleja cómo, a lo largo de su vida, combinó con éxito contribuciones científicas excepcionales con un firme compromiso ético.

Esta extraordinaria mujer superó numerosos obstáculos en una sociedad dominada por hombres para abrir camino a las mujeres científicas. Por ejemplo, siendo joven en Berlín, se enfrentó con enormes barreras para encontrar trabajo en laboratorios y en el ámbito académico; en un entorno donde no se reconocía debidamente la capacidad de las mujeres para dedicarse a la física, comúnmente se utilizaba el término *fräulein physikerin* (física femenina) como sinónimo de falta de cualificación. A diferencia de Curie, Meitner optó por dedicarse por completo a la investigación y pudo hacerlo sin casarse ni

formar una familia, lo que iba en contra de las expectativas sociales de las mujeres en aquella época (Richmond, 2001; Sime, 1997).

La exclusión de Meitner del Premio Nobel de Química en 1944 —otorgado únicamente a Otto Hahn— suele considerarse uno de los casos más representativos de discriminación hacia las científicas en el siglo xx. Diversos historiadores han señalado que esta decisión estuvo influida tanto por sesgos de género como por su condición de exiliada, lo que limitó su visibilidad en los círculos académicos vinculados al proceso de nominación (Richmond, 2001; Hargittai, 2018). No obstante, Meitner logró formar parte de la élite científica de su época y mantuvo colaboraciones e intercambios intelectuales con figuras destacadas como Max Planck, Niels Bohr y Albert Einstein. Este último incluso se refería a ella, de forma muy positiva, como «nuestra Marie Curie», lo que resalta el gran respeto que le tenía y el reconocimiento de su relevancia científica similar a la de la física polaca (Sime, 1997).

En cuanto a logros profesionales y reconocimientos, Lise Meitner marcó hitos importantes; aunque con retraso respecto a sus méritos, en parte debido a prejuicios de género y a su forzado exilio. En 1926 fue nombrada profesora extraordinaria de Física Nuclear en la Universidad de Berlín, convirtiéndose en la primera mujer en Alemania en ocupar un puesto de profesora universitaria de Física (National Park Service, s. f.). Este nombramiento oficial llegó después de muchos años de trabajo no remunerado o con un salario muy inferior al de sus colegas masculinos, lo que da idea del techo de cristal que tuvo que enfrentar (García, 2015). Tras la Segunda Guerra Mundial recibió un tardío, pero significativo reconocimiento internacional. En 1946 viajó a Estados Unidos y fue aclamada públicamente, incluso la prensa norteamericana la nombró Mujer del Año, honor que le fue entregado por el presidente Harry Truman en persona; aunque modestamente declinó propuestas extravagantes (como participar en una película de Hollywood sobre su vida), este reconocimiento reflejó su estatus como celebridad científica y heroína tras la guerra. Aun así, en su país adoptivo Suecia y también en Alemania, durante algún tiempo su contribución continuó infravalorada o ignorada por cier-

tos colegas. No fue sino hasta décadas más tarde que su nombre empezó a ocupar el lugar merecido en la historia de la ciencia (García, 2015).

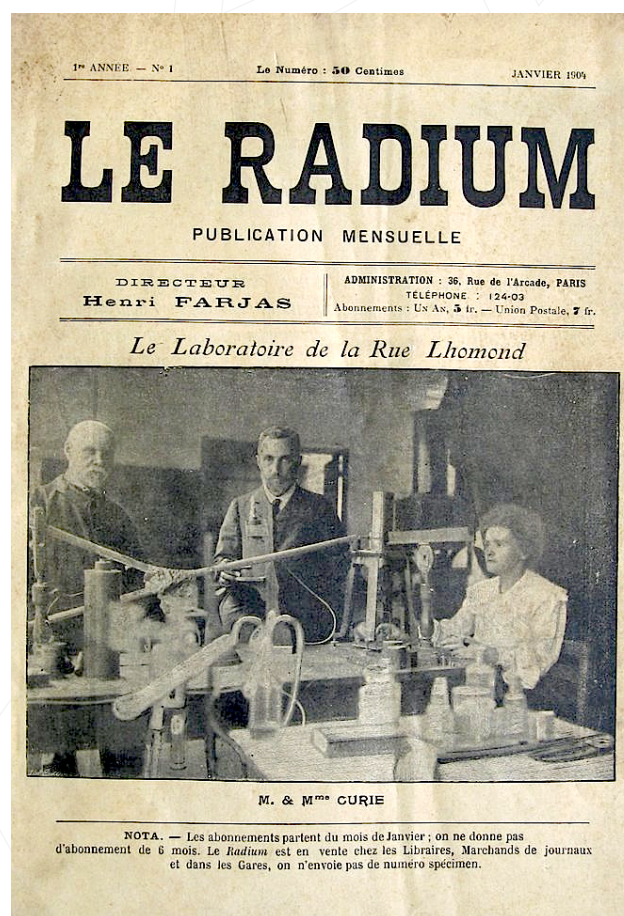
En la etapa final de su carrera, la comunidad científica otorgó a Lise Meitner numerosos premios y distinciones debido a sus amplios descubrimientos en la Ciencia: fue honrada con el Premio de Ciencias de la Ciudad de Viena en 1947, la Medalla Max Planck en la Sociedad Alemana de Física en 1949, el prestigioso Premio Otto Hahn en 1955, la Medalla Wilhelm Exner en 1960 y la Medalla Dorothea Schlözer en 1962, además de ser miembro de la Academia Austriaca de Ciencias. A los 87 años, en 1966, obtuvo el reconocimiento por todas sus contribuciones científicas, recibiendo el Premio Enrico Fermi por la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos de América, el cual compartió con sus colegas Otto Hahn y Fritz Strassmann, siendo este premio el más significativo como reivindicación histórica. Es importante mencionar que, en un principio, Otto Hahn intentó que Lise Meitner no recibiera este honor, sin embargo, Fritz Strassmann insistió en que se le hiciera justicia, asegurándose que Meitner compartiera el galardón junto con ellos.

Durante la última etapa de su carrera se le entregaron diversos galardones y distinciones a nivel mundial por sus aportaciones y valor científico en la física nuclear y su papel clave en el hallazgo de la fisión nuclear (Sime, 1997). Estos premios le fueron otorgados a lo largo de los años de 1940 y 1960, tanto en Europa como en Estados Unidos, lo que demostró el notable impacto en las ciencias de Lise Meitner, siendo reconocida dentro de la comunidad científica tras haber estado en el anonimato durante un largo tiempo (Richmond, 2001). Poco después, en 1968, Meitner falleció en Cambridge (Reino Unido) a los 89 años, dejando un legado científico e intelectual de enorme influencia en la física del siglo xx (Sime, 1997).

Más recientemente, la Academia de las Ciencias reconoció su trabajo y la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés), en un acto de reivindicación de su destacada labor, asignó el nombre de meitnerio al elemento químico 109, en el año de 1997, en su honor, hecho que la inmortalizó en la tabla periódica. Meitner fue la segunda mujer en ser incluida,

después de Curie, como una de las grandes figuras en la historia de la química y la física nuclear, así como en ser homenajeada con un elemento químico epónimo (Cid, 2021; Hargittai, 2018).

Asimismo, Lise Meitner ha sido una influencia trascendental como mentora e inspiración para las mujeres científicas de generaciones posteriores, aunque no estuvo a cargo de un gran grupo propio, debido a las restricciones institucionales y de género que enfrentó en el tiempo que le tocó vivir, su trayectoria fue citada por investigadoras más jóvenes como ejemplo de perseverancia y excelencia científica. Un caso particular es el de Maria Goeppert-Mayer, ganadora del Premio Nobel de Física en el



Portada del primer número de Le Radium, enero de 1904. Publicación mensual dedicada a la radiactividad; en la portada aparece el laboratorio asociado con los trabajos sobre el radio. Foto: recuperada de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Le\\_Radium\\_issue\\_01\\_-\\_January\\_1904\\_-\\_cover.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Le_Radium_issue_01_-_January_1904_-_cover.png)

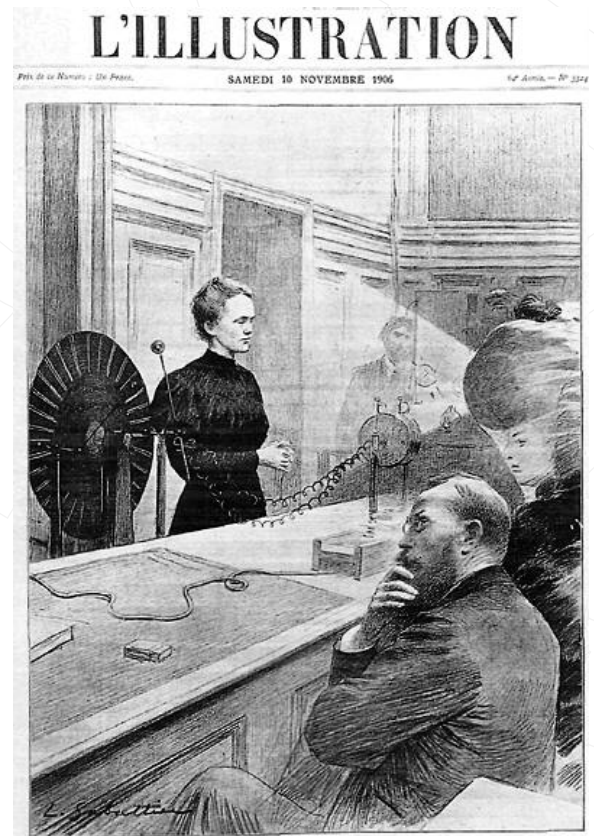
año de 1963 por el modelo de capas nucleares, quien reconoció que las aportaciones de Meitner fueron determinantes para su trayectoria profesional (Hargittai, 2018). La trayectoria de Lise Meitner ha demostrado de manera contundente que una mujer puede dirigir investigaciones de punta en la física teórica y experimental, contribuyendo categóricamente a derribar los estereotipos de género que existen en la ciencia.

La aportación de Meitner en la historia de la ciencia es integral: por un lado, sus investigaciones fundamentales sobre la comprensión del núcleo atómico la colocan entre las arquitectas de la era nuclear y, por otro lado, su trayectoria personal llena de perseverancia, integridad y solidaridad la han convertido en un símbolo de la mujer científica que reivindica su posición en la esfera de la ciencia. Hoy se le reconoce internacionalmente como «la madre de la fisión nuclear» y su historia se ha visibilizado en la literatura científica, en obras de teatro y homenajes, empoderándola como la gran pionera en el campo de la física nuclear y la radiactividad, olvidada durante años (Diario Judío, 2023).

Al igual que Marie Curie, Lise Meitner ha sido una gran inspiración para las nuevas generaciones, su nombre nos recuerda y evoca la pasión por la ciencia y el coraje para vencer cualquier obstáculo en un mundo de hombres en la ciencia. Curie se convirtió en la primera mujer destacada en la ciencia moderna y Meitner dio continuidad a este camino, confirmando que sí es posible realizar contribuciones excepcionales en los dominios más avanzados de la física con conciencia humanitaria. Ambas dejan una huella indeleble en la historia de la ciencia.

## Conclusiones

Marie Curie y Lise Meitner fueron contemporáneas, provenientes de diferentes ámbitos, pero con un objetivo común: revolucionar nuestra comprensión de la naturaleza de la materia a través de sus experiencias únicas y mentes científicas excepcionales. Ambas desempeñaron papeles fundamentales en el desarrollo de dos nuevas disciplinas científicas: radiactividad y física nuclear, durante un período apasionante y de gran desarrollo en ambos campos. Curie se dedicó a descubrir elementos



Marie Curie inaugurando su curso sobre radiactividad en la Sorbona, París, 1906. Ilustración publicada en la portada de L'illustration el 10 de noviembre de 1906.

Foto: recuperada de <https://historiaybiografias.com/una-vida-para-imitar/>

radiactivos naturales hasta entonces desconocidos e inició el estudio de la radiactividad natural; Meitner, por su parte, contribuyó a la comprensión de la fisión nuclear (el proceso mediante el cual se libera energía nuclear de un átomo). Si bien las consecuencias de los logros de Curie se sintieron de inmediato en los campos académicos de la física y la química, ya que abrieron las puertas al estudio de los átomos inestables y su uso en medicina, las contribuciones de Meitner, aunque se produjeron mucho más tarde, tuvieron un impacto significativo en el desarrollo de la energía nuclear y en el panorama político de mediados del siglo XX.

Sus ejemplos abrieron camino a las siguientes generaciones, inspiraron directamente a sus discípulas (Irène Joliot-Curie en el caso de Marie; Maria Goeppert-Mayer

en el de Lise, entre otras) y demostraron al mundo que la mujer podía contribuir al progreso científico al más alto nivel. En este sentido, Curie y Meitner cambiaron paradigmas sociales, además de científicos, al convertirse en modelos a seguir y en argumentos vivientes a favor de la igualdad de género en la ciencia.

En cuanto a la relación con la sociedad y la ética sus trayectorias también ofrecen un contraste complementario. Marie Curie se dedicó a utilizar su conocimiento y experiencia como científica para ayudar a la humanidad; estuvo dispuesta a arriesgar su salud y emplear sus propios recursos personales para utilizar rayos X en el campo de batalla y así aliviar el sufrimiento de las personas. Lise Meitner, por otro lado, contribuyó en desarrollar una reflexión ética en la era nuclear al utilizar su conocimiento de la energía atómica para el bien común, al tiempo que se oponía a su aplicación nociva, pues se negó a participar en el desarrollo de armas. El legado de ambas mujeres no sólo incluye avances teóricos y experimentales, sino que también es un recordatorio de la obligación de los científicos con la humanidad.

Marie Curie y Lise Meitner compartieron ideas y opiniones similares sobre la ciencia por caminos distintos. A pesar de encontrarse en situaciones diferentes y ser vistas de manera distinta por la sociedad, estas científicas lograron lo imposible al crear nuevas posibilidades en sus respectivos campos. Curie demostró que las mujeres eran capaces de liderar los avances científicos de su época; mientras que Meitner ilustró que era posible contribuir a la investigación pionera a nivel mundial incluso en condiciones difíciles, por ejemplo, en el exilio. Ambas son recordadas por sus conocimientos y éxitos en su trayectoria académica, así como por su determinación sobre los prejuicios. Comparar las vidas de estas dos mujeres demuestra que la ciencia es un proceso colaborativo y diverso y que el talento no conoce límites de género ni de nacionalidad. La influencia de Marie Curie y Lise Meitner perdurará en la ciencia del siglo XXI y más allá, a través de las numerosas científicas que actualmente se inspiran en su trabajo para seguir rompiendo barreras de género en el conocimiento científico.

## Referencias

- Abergel, R., Aris, J., Bolch, W. E., Dewji, S. A., Golden, A., Hooper, D. A., Margot, D., Menker, C. G., Paunesku, T., Schaeue, D. y Woloschak, G. E. (2022). The enduring legacy of Marie Curie: impacts of radium in 21st-century radiological and medical sciences. *International Journal of Radiation Biology*, 98(3), 267-275. <https://doi.org/10.1080/09553002.2022.2027542>
- Adloff, J. P. (2011). A short history of polonium and radium. *Chemistry International*, 33(1), 20-23. <https://doi.org/10.1515/ci.2011.33.1.20>
- Atomic Heritage Foundation. (s. f.). *Lise Meitner*. <https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/profile/lise-meitner/>
- Barclay, L. C. (2022). Australian medical imaging and world war one. *Journal of Medical Radiation Sciences*, 69(4), 510-517 <https://doi.org/10.1002/jmrs.610>
- Boudia, S. (2011). *Marie Curie and the «science wars» in France*. *Historical Studies in the Natural Sciences*, 41(3), 316-345. <https://doi.org/10.1525/hsns.2011.41.3.316>
- Cid, A. (2021). *Lise Meitner: Una mujer científica descubridora del protactinio y la fisión nuclear* [Manuscrito inédito]. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.
- Diario Judío. (2023). *Lise Meitner: la científica olvidada en la película Oppenheimer*. <https://diariojudio.com/opinion/lise-meitner-la-cientifica-olvidada-en-la-pelicula-oppenheimer/447827/>
- García, M. (2015). *Lise Meitner, la científica que descubrió la fisión nuclear*. *Mujeres con Ciencia*. <https://mujeresconciencia.com/2015/03/04/lise-meitner-la-cientifica-que-descubrio-la-fision-nuclear/>
- Ghose, S. (2024). *Su espacio, su tiempo: científicas pioneras que descifraron el universo*. Paidós.
- Hargittai, M. (2018). Women scientists: an uphill battle for recognition. En M. Hargittai (Ed.), *Politics, chemistry, and the discovery of nuclear fission* (pp. 1-20). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2018-1311.ch001>

- National Park Service. (s. f.). *Women of the Manhattan Project: Lise Meitner*. <https://www.nps.gov/people/women-of-the-manhattan-project-lise-meitner.htm>
- Obeid El Jamal, N. y Guerra, A. (2022). The Marie Curie case through the cultural history of science: discussing relations between women, science, and patriarchy in science education. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 24. <https://doi.org/10.1590/1983-21172022240107>
- Quinn, S. (2007). Marie Curie and the politics of visibility. *Journal of the History of Biology*, 40(2), 297-323. <https://doi.org/10.1007/s10739-006-9109-5>
- Richmond, M. L. (2001). Women in the early history of genetics: William Bateson and the Newnham College mendelians, 1900-1910. *Isis*, 92(1), 1-25. <https://doi.org/10.1086/385040>
- Seaborg, G. T. (1951). *The transuranium elements: Present status*. The Nobel Foundation. <https://www.nobel-prize.org/prizes/chemistry/1951/seaborg/lecture/>
- Sime, R. L. (1997). *Lise Meitner: a life in physics*. University of California Press.
- Skwarzec, B., Boryło, A., Wieczorek, J. y Lanczewska, K. (2023). Polonium on the 125th anniversary of its discovery: its chemistry, radiotoxicity, and application. *Journal of Environmental Radioactivity*, 268-269. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2023.107259>

## La cicatrización de las heridas: un viaje por el proceso que ocurre dentro de tu cuerpo

**Guadalupe Espinosa García**

Universidad Tecnológica de Tecámac  
[gespinosag@uttecamac.edu.mx](mailto:gespinosag@uttecamac.edu.mx)

**Lorena Elizabeth Chávez-Güitrón**

Universidad Tecnológica de Tecámac  
[lchavezg@uttecamac.edu.mx](mailto:lchavezg@uttecamac.edu.mx)

### Resumen

Cuando te cortas, tu cuerpo activa de inmediato un proceso de defensa y reparación. Primero, los vasos sanguíneos se contraen para disminuir el sangrado y las plaquetas forman un coágulo que sella la herida. Posteriormente, células del sistema inmune llegan para limpiar bacterias y tejidos dañados, generando una ligera inflamación. Más tarde, el cuerpo comienza a producir nuevas células de piel, colágeno y vasos sanguíneos para reconstruir el tejido. Finalmente, la zona se remodela y fortalece hasta que la piel recupera su estructura, dejando o no una cicatriz según la profundidad del daño.

### Palabras Clave

Heridas, enfermedades, factores de infección, cicatrices.

### Abstract

When you get a cut, your body immediately activates a process of defense and repair. First, the blood vessels narrow to reduce bleeding, and platelets form a clot that seals the wound. Then, immune cells arrive to clean out bacteria and damaged tissue, causing slight inflammation. Later, the body begins to produce new skin cells, collagen, and blood vessels to rebuild the tissue. Finally, the area is remodeled and strengthened until the skin regains its structure, leaving a scar or not depending on the depth of the injury.

### Keywords

Wounds, diseases, infection factors, scars.

---

APA: Espinosa, G. y Chávez, L. (2026). La cicatrización de las heridas: un viaje por el proceso que ocurre dentro de tu cuerpo. *Azcatl*, 7, 16-20, DOI: [10.24275/AZC2026A003](https://doi.org/10.24275/AZC2026A003)

Fecha de recepción: 8 de diciembre de 2025. Fecha de aceptación para publicación: 12 de febrero de 2026.

## Introducción

¿Alguna vez te has preguntado cómo sanan las heridas?

Imagina que tu piel es como un muro visto de cerca, cada ladrillo es una pequeña parte de ese tejido que te protege todos los días. Cuando ese muro se rompe es como cuando te cortas, raspas o lastimas, ocurre algo sorprendente. Primero aparece el sangrado, pero lo más fascinante es lo que sucede después: tu cuerpo comienza a repararse a sí mismo de manera automática y muy organizada. La sangre, ese líquido rojo y espeso, está llena de diminutos componentes: los eritrocitos, también conocidos como glóbulos rojos, que le dan el color característico y transportan oxígeno; los leucocitos, o glóbulos blancos, que actúan como defensores al combatir infecciones; y unos pequeños fragmentos celulares, células que viajan a través del plasma, la porción líquida y amarilla de la sangre, llamadas plaquetas, que son las encargadas de iniciar la reparación (Gurtner *et al.*, 2008).

Cuando la sangre circula por tus venas, las células rojas parecen pequeñas bolsas, las blancas se asemejan a esponjas y entre ambas viajan las plaquetas, discretas pero esenciales. Ahora que conoces los protagonistas, veamos cómo comienza la obra de la cicatrización (Figura 1) (Eming *et al.*, 2017).

En cuanto ocurre la herida, las plaquetas son las primeras en llegar, éstas se adhieren a los bordes del daño y se apilan unas sobre otras para sellarlo. Este proceso activa la producción de una proteína llamada fibrina, que es parecida a delgados filamentos de espagueti (Yang *et al.*, 2024).

La fibrina se entrelaza formando una red muy fina, como una telaraña, que se va tensando poco a poco. Esta estructura cumple dos funciones fundamentales: evita que la sangre siga saliendo, atrapándola en su red, y une los extremos de la herida, iniciando el cierre natural del tejido.

Con el tiempo, esa red de fibrina y las células atrapadas se secan y endurecen, formando una capa protectora conocida como costra. Debajo de ella, la piel trabaja silenciosamente, reconstruye tejidos, genera nuevas células y restablece su estructura. Este proceso de autorre-

paración es un mecanismo dinámico y altamente regulado que ocurre en cuatro fases superpuestas, indispensables para restaurar la integridad de la piel: hemostasia, inflamación, proliferación y remodelación; cada una de estas etapas debe completarse correctamente para que la curación sea efectiva, por eso no es buena idea arrancar la costra, ya que hacerlo puede retrasar la cicatrización, favorecer infecciones o incluso dejar cicatrices permanentes (Eming *et al.*, 2017).

El proceso es tan eficiente que podría compararse con un vendaje natural: una obra de ingeniería biológica que ocurre sin que lo notemos y que nos recuerda lo increíblemente preparado que está nuestro cuerpo para sanar.

Sin embargo, no todas las heridas sanan al mismo ritmo ni de la misma manera. En este trabajo exploraremos qué ocurre cuando la cicatrización se detiene, cómo se clasifican las heridas, qué cuidados ayudan a que sanen adecuadamente y cuáles son los mitos más comunes sobre este proceso.

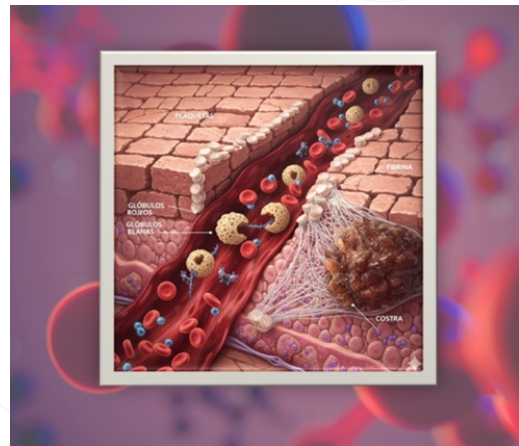


Figura 1. Participación de plaquetas, fibrina y células sanguíneas en el sellado de una herida.

## ¿Por qué algunas heridas no sanan rápido?

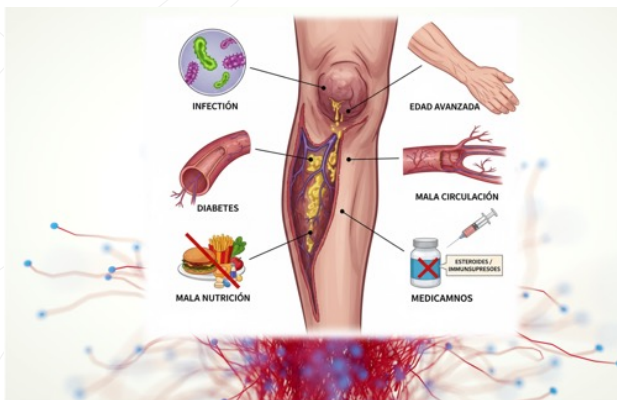
*Factores como infección, diabetes, mala circulación y hábitos*

Aunque el cuerpo está diseñado para repararse de manera eficiente, no todas las heridas evolucionan al mismo ritmo. Cuando una lesión tarda semanas o meses en ce-

rrar, suele deberse a que existe algún factor que interfiere con el proceso normal de cicatrización.

Entre las causas más frecuentes se encuentran las siguientes:

- *Infecciones.* Las bacterias pueden retrasar el cierre de la herida, aumentar la inflamación y destruir tejido nuevo (de Araújo *et al.*, 2025).
- *Mala circulación/Problemas vasculares.* La llegada insuficiente de oxígeno y nutrientes dificulta la regeneración celular (Hunt *et al.*, 2000).
- *Enfermedades crónicas* (por ejemplo, diabetes). Condiciones sistémicas pueden afectar la capacidad de regeneración, alterar la respuesta celular e inmunitaria y entorpecer la cicatrización (Demidova *et al.*, 2012).
- *Deficiencias nutricionales.* La falta de elementos esenciales (proteínas, vitaminas y minerales) puede inhibir la síntesis de nuevo tejido (Velnar *et al.*, 2009).
- *Edad avanzada.* Con el envejecimiento la piel pierde elasticidad, la perfusión puede ser menor y la respuesta inmunitaria y regenerativa se debilita (Hunt *et al.*, 2000).
- *Medicamentos o factores sistémicos.* Ciertos fármacos, enfermedades metabólicas o estilos de vida (tabaquismo y mala perfusión) pueden alterar la cicatrización (Hunt *et al.*, 2000).



**Figura 1.** Participación de plaquetas, fibrina y células sanguíneas en el sellado de una herida.

Es importante identificar y tratar estas causas para promover una recuperación efectiva y evitar complicaciones graves.

### Clasificación de heridas

Comprender cómo se clasifican las heridas ayuda a anticipar su evolución y a orientar su manejo. Las principales categorías incluyen:

- *Según su origen.* Heridas intencionadas producidas en entornos controlados (cirugías y punciones), bordes limpios y menor riesgo de contaminación. Heridas no intencionadas resultado de accidentes o traumatismos, bordes irregulares, contaminación y mayor riesgo de infección.
- *Según su aspecto externo.* Heridas abiertas, ruptura visible de piel o mucosas con posible entrada de microorganismos (punciones, laceraciones, abrasiones, etcétera). Heridas cerradas donde la piel permanece intacta, pero hay daño interno (contusiones y hematomas).
- *Según su evolución en el tiempo.* Heridas agudas que se desarrollan adecuadamente en las fases de reparación; sanan en días o semanas. Heridas crónicas que permanecen abiertas por más de 30 días, con inflamación persistente, posible infección y detención del proceso normal de cicatrización (Velnar *et al.*, 2009).
- *Según el mecanismo que las produce.*
  - *Lesiones por presión.* Presión prolongada que interrumpe flujo sanguíneo y causa necrosis.
  - *Lesiones por fricción.* Desgaste superficial de la piel por roce.
  - *Lesiones por cizalladura.* Desplazamiento de capas de tejido, daño vascular y separación de la piel del tejido subyacente.

**Nota:** Aunque las clasificaciones externas (origen, apariencia y mecanismo) no siempre aparecen juntas en todas las publicaciones, sí está bien documentado que el tipo de herida, su localización y las condiciones del entorno influyen en la cicatrización (Velnar *et al.*, 2009).



Figura 3. Clasificación general de las heridas.

### Prevención y cuidado de heridas

Para favorecer una cicatrización adecuada es importante seguir buenas prácticas, como limpiar la herida con agua y jabón neutro, evitando sustancias irritantes que puedan dañar tejido nuevo; mantener la herida húmeda y protegida con apósitos, lo que favorece la migración celular y la formación de tejido de granulación y epitelización (Grubbs y Manna, 2026); cambiar el vendaje cuando esté sucio o húmedo; y vigilar signos de alarma: enrojecimiento creciente, mal olor, dolor persistente o fiebre, ya que éstos indican posible infección.

En heridas que no evolucionan (no cicatrizan en un tiempo razonable) se deben considerar factores sistémicos (circulación, nutrición, enfermedades, entre otros) y acudir con un profesional de la salud.

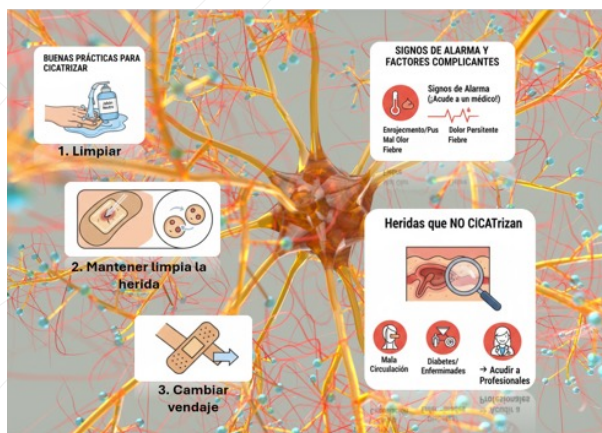


Figura 4. Cuidado de heridas: protocolo y alertas.

### Mitos comunes sobre la cicatrización

- «Dejar la herida al aire es mejor.» Falso, estudios modernos muestran que mantener la herida protegida y húmeda acelera la cicatrización (Grubbs y Manna, 2026).
- «El agua oxigenada siempre ayuda.» Puede ser contraproducente: daña células nuevas y retrasa la reparación.
- «Si no hay dolor, no hay infección.» Las infecciones pueden desarrollarse sin dolor, especialmente en personas con neuropatías o enfermedades como la diabetes.
- «La costra debe quitarse para que cierre más rápido.» La costra funciona como vendaje natural; quitarla interrumpe el proceso y puede dejar cicatriz.

Como se mencionó anteriormente, la cicatrización es un proceso altamente regulado y dinámico que ocurre en fases superpuestas (hemostasia, inflamación, proliferación y remodelación), cada una indispensable para restaurar la integridad y la resistencia de la piel.

Durante la fase de proliferación se deposita principalmente colágeno tipo III, lo que ofrece rapidez, pero es menos resistente. Es en la fase de remodelación donde este colágeno es reemplazado gradualmente por colágeno tipo I, la proteína estructural que confiere mayor fuerza, aunque la disposición de las fibras en la cicatriz final siempre será diferente a la piel original. Diferentes factores, desde una infección hasta problemas de circulación, nutricionales o enfermedades crónicas, pueden alterar el orden mencionado, resultando en heridas lentas o crónicas. Entender estos procesos, clasificar correctamente las heridas y aplicar un cuidado adecuado permite favorecer una curación eficiente y prevenir complicaciones.

### Referencias

de Araújo, A. P., Jacobowski, A. C., Farías, B. M., Vicente, M., Del Pino, K. F., Migliolo, L., ...Rodrigues, M. L. (2025). Wound healing: molecular mechanisms, antimicrobial peptides, and emerging tech-

- nologies in regenerative medicine. *Pharmaceuticals*, (18) (10), 1525. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41155640/>
- Broughton, G., Janis, J. E. y Attinger, C. E. (2006). The basic science of wound healing. *Plastic and Reconstructive Surgery*, (117) (7), 12S-34S. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16799372/>
- Demidova, T. N., Hamblin, M. R., Herman, I. M. (2012). Acute and impaired wound healing: pathophysiology and current methods for drug delivery, part 1. Normal and chronic wounds. Biology, causes, and approaches to care. *Advances in Skin and Wound Care*, (25) (7), 304-314. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22713781/>
- Eming, S. A., Wynn, T. A. y Martin, P. (2017). Inflammation and metabolism in tissue repair and regeneration. *Science*, (356) (6342), 1026-1030. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28596335/>
- Grubbs, H. y Manna, B. (2026). Wound physiology. *StatPearls*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30085506/>
- Gurtner, G. C., Werner, S., Barrandon, Y. y Longaker, M. T. (2008). Wound repair and regeneration. *Nature*, 453, 314-321. <https://www.nature.com/articles/nature07039>
- Hunt, T. K., Hopf, H. y Hussain, Z. (2000). Physiology of wound healing. *Advances in skin and wound care*, (13) (2 supl.), 6-11. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11074996/>
- Velnar, T., Bailey, T., Smrkolj, V. (2009). The wound healing process: an overview of the cellular and molecular mechanisms. *The Journal of International Medical Research*, (37) (5), 1528-1542. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19930861/>
- Yang, Y., Huang, J., Zeng, A., Long, X., Yu, N. y Wang, X. (2024). The role of the skin microbiome in wound healing. *Burns and Trauma*, (12). <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10914219/>

## La transición terapéutica: probióticos para combatir la resistencia antimicrobiana

**Selene García Reyes**

Universidad Nacional Autónoma de México

[selene.garcia@iquimica.unam.mx](mailto:selene.garcia@iquimica.unam.mx)

**Francisca Guadalupe Arcos-García**

Universidad Autónoma de Querétaro

[farcos21@alumnos.uaq.mx](mailto:farcos21@alumnos.uaq.mx)

### Resumen

Este artículo analiza la resistencia a los antibióticos y el papel del microbioma intestinal, destacando los probióticos —especialmente del género *Lactobacillus*— como una alternativa para reducir la dependencia de los fármacos. Se describen sus mecanismos de acción, sus posibles aplicaciones terapéuticas y la necesidad de más estudios que permitan optimizar su uso y regulación, considerando el potencial de estos microorganismos benéficos para contribuir en la reducción de la resistencia antimicrobiana y mejorar la salud global.

### Palabras clave

*Lactobacillus*, probióticos, antibióticos, enfermedades, microbioma.

### Abstract

This article analyzes antibiotic resistance and the role of the gut microbiome, highlighting probiotics, especially those of the genus *Lactobacillus*, as an alternative to reduce reliance on these drugs. It describes their mechanisms of action, potential therapeutic applications, and the need for further studies to optimize their use and regulation, considering their potential to help reduce antimicrobial resistance and improve global health.

### Keywords

*Lactobacillus*, probiotics, antibiotics, diseases, microbiome.

APA: García, S. y Arcos-García, F. (2026). La transición terapéutica: probióticos para combatir la resistencia antimicrobiana. *Azcatl*, 7, 21-25, DOI: [10.24275/AZC2026A004](https://doi.org/10.24275/AZC2026A004)

Fecha de recepción: 12 de marzo de 2026.

Fecha de aceptación para publicación: 7 de mayo de 2026.

## Introducción

La resistencia a los antibióticos representa una amenaza para la salud pública mundial, ya que limita la eficacia de los tratamientos contra infecciones. Este fenómeno está relacionado con el uso excesivo y la prescripción inadecuada de estos fármacos, lo que favorece la aparición y dispersión de microorganismos resistentes (Aslam *et al.*, 2021).

Aunque los antibióticos han sido fundamentales para el control de enfermedades, su uso prolongado puede alterar el equilibrio del microbioma intestinal, lo que provoca disbiosis y afecta la salud intestinal. El microbioma está conformado por microorganismos benéficos que contribuyen al mantenimiento de las funciones inmunológicas y metabólicas. Entre estos microorganismos destacan los probióticos, especialmente los del género *Lactobacillus*, los cuales, al administrarse en cantidades adecuadas, aportan beneficios y pueden ayudar a prevenir infecciones. En este contexto, los probióticos surgen como una alternativa prometedora para reducir el uso de antibióticos y mitigar el desarrollo la resistencia a éstos.

## Mecanismos de acción de los probióticos *Lactobacillus* en la salud intestinal

Los probióticos del género *Lactobacillus* contribuyen al mantenimiento de la salud intestinal al fortalecer la barrera epitelial, proteger la mucosa, inhibir microorganismos patógenos mediante la producción de sustancias antimicrobianas y favorecer el tránsito intestinal.

El tracto intestinal cuenta con diversas barreras de protección. En la primera línea de defensa, *Lactobacillus* se adhiere al epitelio intestinal mediante proteínas de unión, como Mub y MucBP, que interactúan con las mucinas, lo que favorece su permanencia en el intestino (Ghosh *et al.*, 2019) (Figura 1). Una vez establecido produce bacteriocinas con actividad antimicrobiana, las cuales contribuyen a la eliminación de patógenos. La segunda línea de defensa corresponde al epitelio intestinal y su capa de mucosa, que facilita la fijación de los probióticos y favorece la absorción de nutrientes. Finalmente, el sistema inmunológico actúa eliminando los patógenos restantes, aunque su eficacia puede verse reducida cuando disminuye la presencia de los probióticos.

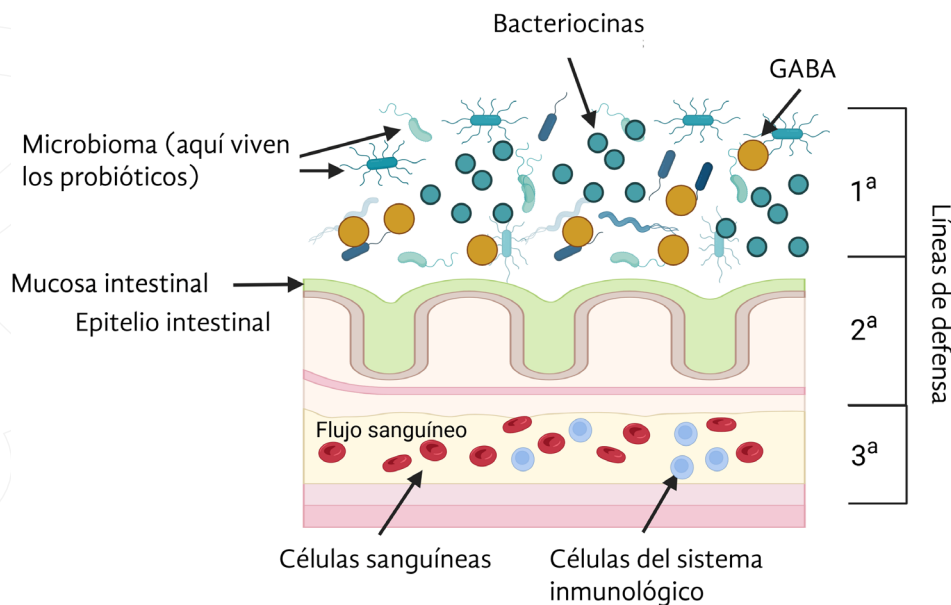


Figura 1. Líneas de defensa del intestino humano.

## Uso de probióticos del género *Lactobacillus* en diversos padecimientos

Diversos estudios han demostrado el potencial terapéutico de los probióticos, especialmente del género *Lactobacillus*, en diferentes padecimientos. Entre las aplicaciones más estudiadas se encuentra su acción en la diarrea asociada con el uso de antibióticos, mediante cepas como *L. acidophilus*, *L. rhamnosus* GG y *L. reuteri* (Kopacz y Phadtare, 2022); así como en trastornos inflamatorios intestinales y en la enfermedad de Crohn, en los que se han evaluado *L. rhamnosus*, *L. plantarum* y *L. acidophilus* (Aghamohammad *et al.*, 2022; Kim *et al.*, 2019; Shadnoush *et al.*, 2015).

Asimismo, se han investigado sus efectos en cáncer colorrectal con *L. paracasei*, *L. plantarum* y *L. acidophilus* (Kim *et al.*, 2019); en obesidad con *L. plantarum* y *L. rhamnosus* (Crovesy *et al.*, 2017); y en diabetes tipo II en modelos animales con *L. acidophilus* (Yan *et al.*, 2019). Asimismo, se ha reportado su utilidad en el tratamiento de la gastritis causada por *Helicobacter pylori* mediante *L. reuteri* DSM 17648 (Ismail *et al.*, 2023), en alergias como la rinitis con *L. plantarum* GUANKE (Han *et al.*, 2024) y en alergias alimentarias (Gu *et al.*, 2023). De igual forma, investigaciones recientes sugieren efectos beneficiosos de cepas de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* en la depresión, mediante la modulación del eje intestino-cerebro (John-

son *et al.*, 2023). En el ámbito de la salud bucal, probióticos como *Streptococcus salivarius* han demostrado la capacidad de restaurar el equilibrio del microbioma oral, lo que contribuye a la prevención de la enfermedad periodontal y la halitosis (Tagg *et al.*, 2023). Mientras que en aplicaciones dermatológicas, un champú con el paraprobiótico *Bifidobacterium lactis* CT7858 ha mostrado beneficios en la dermatitis seborreica (Fernández *et al.*, 2023). En conjunto, esta evidencia resalta el potencial de los probióticos como herramienta terapéutica en diversas condiciones de salud y como estrategia complementaria para reducir el uso de antibióticos y la resistencia antimicrobiana (Figura 2).

## Desafíos y consideraciones futuras del uso de probióticos

El uso clínico de los probióticos requiere identificar las cepas más eficaces y comprender mejor sus mecanismos de acción. También es necesario establecer estándares de calidad y regulación, así como realizar más estudios para definir dosis, duración del tratamiento, eficacia a largo plazo y posibles interacciones con otros medicamentos. Los avances en el estudio del microbioma podrían permitir terapias personalizadas, mientras que la educación de profesionales de la salud y del público favorecería un uso responsable.

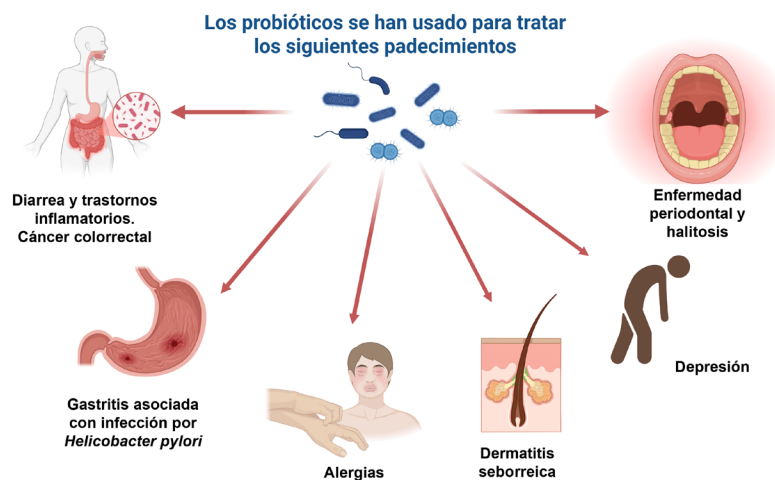


Figura 2. Aplicaciones terapéuticas de los probióticos en diferentes padecimientos.

## Referencias

- Aghamohammad, S., Sepehr, A., Miri, S. T., Najafi, S., Poursahafie, M. R. y Rohani, M. (2022). Anti-inflammatory and immunomodulatory effects of *Lactobacillus* spp. as a preservative and therapeutic agent for IBD control. *Immunity, Inflammation and Disease*, 10 (6). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35634951/>
- Aslam, B., Khurshid, M., Arshad, M. I., Muzammil, S., Rasool, M., Yasmeen, N., Shah, T., Chaudhry, T. H., Rasool, M. H., Shahid, A., Xueshan, X. y Baloch, Z. (2021). Antibiotic resistance: one health one world outlook. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.771510>.
- Crovesy, L., Ostrowski, M., Ferreira, D. M. T. P., Rosado, E. L. y Soares, M. (2017). Effect of *Lactobacillus* on body weight and body fat in overweight subjects: a systematic review of randomized controlled clinical trials. *International Journal of Obesity*, 41, 1607-1614. <https://doi.org/10.1038/ijo.2017.161>
- Fernández, G., Rossetto, M. P., Voytena, A., Feder, B., Borges, H., da Costa, G., Feuser, Z. P., Dal-Bó, S. y Michels, M. (2023). Clinical evaluation of paraprobiotic-associated *Bifidobacterium lactis* CCT 7858 anti-dandruff shampoo efficacy: a randomized placebo-controlled clinical trial. *International Journal of Cosmetic Science*, 45(5), 572-580. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ics.12850>
- Ghosh, C., Sarkar, P., Issa, R. y Haldar, J. (2019). Alternatives to conventional antibiotics in the era of antimicrobial resistance. *Trends in Microbiology*, 27(4), 323-338. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2018.12.010>.
- Gu, S., Yang, D., Liu, C. y Xue, W. (2023). The role of probiotics in prevention and treatment of food allergy. *Food Science and Human Wellness*, 12(3), 681-690. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213453022001884>
- Han, H., Chen, G., Zhang, B., Zhang, X., He, J., Du, W. y Li, M. D. (2024). Probiotic *Lactobacillus plantarum* GUANKE effectively alleviates allergic rhinitis symptoms by modulating functions of various cytokines and chemokines. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38288067/>
- Ismail, N. I., Nawawi, K. N. M., Hsin, D. C. C., Hao, K. W., Mahmood, N. R. K. N., Chearn, G. L. C., Wong, Z., Tamil, A. M., Joseph, H. y Raja Ali, R. A. (2023). Probiotic containing *Lactobacillus reuteri* DSM 17648 as an adjunct treatment for *Helicobacter pylori* infection: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Helicobacter*, 28(6). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37614081/>
- Johnson, D., Letchumanan, V., Thum, C. C., Thurairajasingam, S. y Lee, L. H. (2023). A microbial-based approach to mental health: the potential of probiotics in the treatment of depression. *Nutrients*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/nu15061382>.
- Kim, S. K., Guevarra, R. B., Kim, Y. T., Kwon, J., Kim, H., Cho, J. H., Kim, H. B. y Lee, J. H. (2019). Role of probiotics in human gut microbiome-associated diseases. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29(9), 1335-1340. <https://www.jmb.or.kr/journal/view.html?doi=10.4014/jmb.1906.06064>
- Kopacz, K. y Phadtare, S. (2022). Probiotics for the prevention of antibiotic-associated diarrhea. *Healthcare*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/healthcare10081450>.
- Shadnoush, M., Hosseini, R. S., Khalilnezhad, A., Navai, L., Goudarzi, H. y Vaezjalali, M. (2015). Effects of probiotics on gut microbiota in patients with inflammatory bowel disease: a double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Korean Journal Gastroenterology*, 65(4), 215-221. <https://synapse.koreamed.org/func/download.php?path=L2h-vbWUvdmlydHVhbC9rYW1qZS9zeW5hcHNIL-3VwbG9hZC9TeW5hcHNlWE1MLzAwMjhrmcvc-GRmL2tqZy02NSoyMTUucGRm&filename=a2p-nLTY1LTlxNS5wZGY=>
- Tagg, J. R., Harold, L. K., Jain, R. y Hale, J. D. F. (2023). Beneficial modulation of human health in the oral cavity and beyond using bacteriocin-like inhibitory substance-producing streptococcal probiotics. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1161155>.
- Yan, F., Li, N., Shi, J., Li, H., Yue, Y., Jiao, W., Wang, N., Song, Y., Huo, G. y Li, B. (2019). *Lactobacillus acidophi-*

*lus* alleviates type 2 diabetes by regulating hepatic glucose, lipid metabolism and gut microbiota in mice. *Food and Function*, 10(9), 5804-5815. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31461095/>

Yousefi, B., Eslami, M., Ghasemian, A., Kokhaei, P., Farrokhi, A. S. y Darabi N. (2019). Probiotics importance and their immunomodulatory properties. *Journal of Cellular Physiology*, 234(6), 8008-8018. <https://doi.org/10.1002/jcp.27559>.

## Disolventes del futuro al servicio de la humanidad

**Selene Irisais Rivera Hernández**

Universidad Autónoma Metropolitana,  
Unidad Azcapotzalco  
[sirh@azc.uam.mx](mailto:sirh@azc.uam.mx)

**Jorge Iván Aldana González**

Universidad Autónoma Metropolitana,  
Unidad Azcapotzalco  
[jiag@azc.uam.mx](mailto:jiag@azc.uam.mx)

**Alan Aerthon Sampayo Garrido**

Universidad Autónoma Metropolitana,  
Unidad Azcapotzalco  
[alansamp1479@gmail.com](mailto:alansamp1479@gmail.com)

### Resumen

Los disolventes eutécticos profundos (DES, por sus siglas en inglés) son una mezcla de dos o más compuestos sólidos que, al mezclarse, forman un líquido a temperatura ambiente, resultado de las interacciones intermoleculares entre los componentes que constituyen el DES. Estos solventes resultan de interés al ser menos costosos, amigables con el ambiente, biodegradables y con una toxicidad menor en comparación con otras sustancias; además, presentan múltiples aplicaciones en electroquímica, catálisis, extracción, síntesis y biotecnología. Es decir, por las ventajas que ofrecen, son solventes al servicio de la humanidad, ya que pueden dar solución a problemas que en el medio acuoso son difíciles de abordar.

### Palabras clave

Disolventes, eutécticos, ventajas, aplicaciones.

### Abstract

Deep Eutectic Solvents (DES) are made by mixing two or more solid compounds that, when combined, turn into a liquid at room temperature because their melting point becomes lower than that of the individual components. These solvents are especially interesting since they are cheaper, eco-friendly, biodegradable, and less toxic than many traditional substances. On top of that, they can be used in areas like electrochemistry, catalysis, extraction, synthesis, and biotechnology. With all these advantages, they are emerging as solvents that truly work in favor of humanity.

### Keywords

Solvents, eutectic, advantages, applications.

APA: Rivera, S., Aldana, J. y Sampayo, A. (2026). Disolventes del futuro al servicio de la humanidad. *Azcatl*, 7, 26-30, DOI: [10.24275/AZC2026A005](https://doi.org/10.24275/AZC2026A005)

Fecha de recepción: 1 de octubre de 2025.

Fecha de aceptación para publicación: 10 de febrero de 2026.

## Introducción

Se ha establecido que el agua es el disolvente universal, sin embargo, no todas las reacciones o procesos pueden ser ejecutadas en este medio dadas las limitaciones del medio acuoso; para solucionar esta desventaja se han utilizado solventes orgánicos, líquidos iónicos y, recientemente, los denominados disolventes eutécticos profundos (DES), que pueden definirse como mezclas de compuestos binarios donde existe un aceptor de hidrógeno, el cual puede ser un componente iónico, y un donante, que suele ser una amina o alcohol. Los DES presentan una característica fundamental, al ser mezclados en una determinada concentración, el punto de fusión disminuye en comparación de sus componentes individuales (Abbott, 2022; Aldana *et al.*, 2024).

Estos solventes presentan ciertas ventajas, como ser biodegradables, de baja toxicidad y reutilizables, ya que pueden recuperarse mediante métodos sencillos. Asimismo, son relativamente económicos, se obtienen a través de una síntesis simple, presentan una amplia variabilidad de aplicaciones, permiten la extracción de compuestos

complejos y poseen una alta estabilidad química (Abbott, 2022). Debido a estas características se han usado en diferentes campos, como en la síntesis de nuevos materiales (polímeros conductores), en la recuperación y extracción de metales, en la electrodeposición de metales y, particularmente, en el ámbito ambiental, donde han ganado más terreno porque pueden emplearse para separar contaminantes de los suelos y el agua. Por otro lado, más recientemente, los des se han utilizado en las ciencias de los alimentos para la separación y extracción de algunos componentes, como los fenoles o los flavonoides (Chen *et al.*, 2019). Otra de las aplicaciones más explotadas de los des es en el área de la electroquímica, donde, por sus atributos, pueden ser aprovechados en la elaboración de sensores y, por sus características de compatibilidad y baja toxicidad (Lomba *et al.*, 2021), también se emplean como material para la construcción de biosensores (Figura 1) (Smith *et al.*, 2014). Para un adecuado uso de los DES es importante considerar su clasificación, ya que las particularidades de cada solvente implican mayores aplicaciones.

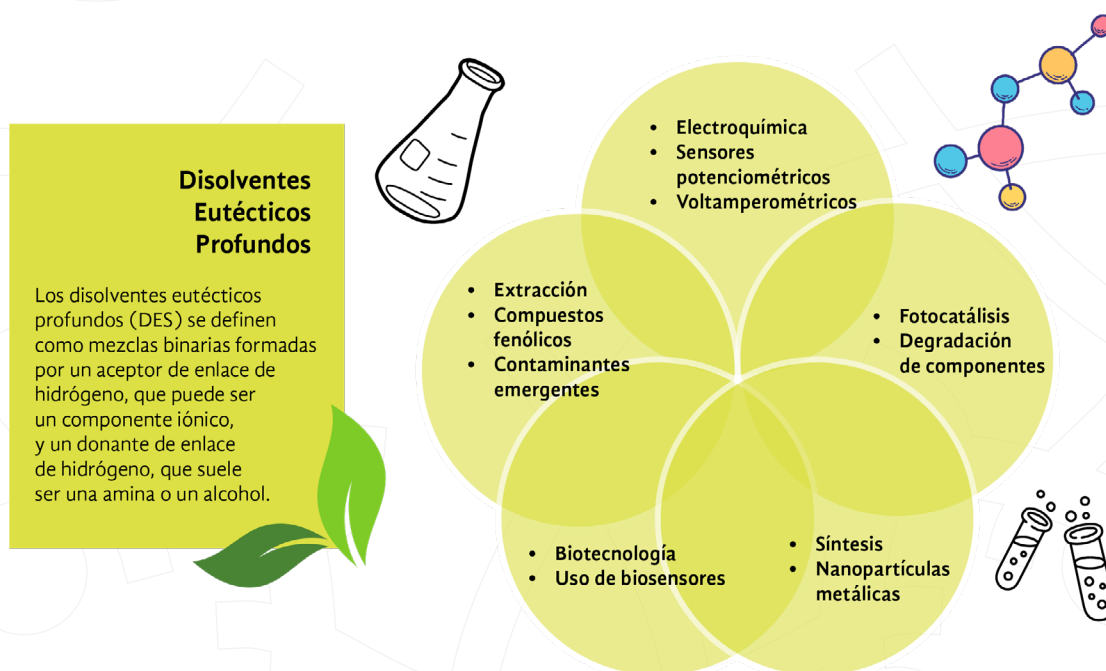


Figura 1. Aplicaciones de los DES.

## Tipos de DES

Los DES suelen clasificarse en cinco categorías, las cuales se muestran en la Tabla I (Abranches y Coutinho, 2022).

Aprovechando los diferentes tipos de DES, sus características y versatilidad, la ciencia básica y la aplicada se unen en el Área de Ingeniería de Materiales (AIM) para brindar soluciones a las problemáticas de la vida actual.

Tabla I. Clasificación de los DES.

Tipo	Mezcla
Tipo I	Sal de amonio cuaternaria y cloruro metálico no hidratado.
Tipo II	Sal de amonio cuaternaria y cloruro metálico hidratado.
Tipo III	Sal de amonio cuaternaria como aceptor de hidrógeno y donador de hidrógeno.
Tipo IV	Un cloruro metálico y un donador de hidrógeno orgánico.
Tipo V	Disolvente eutéctico profundo hidrófobo compuesto de componentes no iónicos.

## Aplicaciones de los DES en el AIM

### De la obsolescencia programada a la recuperación de metales

Los metales desempeñan un papel fundamental en la vida moderna, ya que su uso abarca desde elementos decorativos, utensilios de uso diario y joyería hasta dispositivos tecnológicos indispensables, como teléfonos celulares y computadoras. A pesar de su enorme utilidad, obtenerlos no es un proceso sencillo, ya que requiere métodos complejos, largos, costosos y, en muchos casos, altamente contaminantes (Aldana *et al.*, 2024).

El costo ambiental asociado con la obtención y uso de los metales es considerable. Estos materiales forman parte esencial de dispositivos como celulares, baterías, computadoras, impresoras y microondas, entre muchos otros. Sin embargo, la mayoría de estos aparatos tienen una vida útil corta debido a la obsolescencia programada, una práctica en la que los fabricantes diseñan deliberadamente los productos para que dejen de funcionar

o resulten obsoletos en un periodo determinado, lo que incrementa la generación de desechos y la demanda de nuevos metales.

Dado que los metales son un recurso muy valioso, en el AIM se han utilizado los DES para la recuperación de diversos metales, como Co, Ni y Ag, a partir de desechos electrónicos, principalmente baterías, ya que estos disolventes han funcionado como agentes lixiviantes y medios electrolíticos para su deposición. En cuanto a la recuperación de estos metales, se realiza con el cátodo de las baterías, después se pasan por una molienda y los polvos obtenidos son colocados en el DES; siendo así como, al controlar la temperatura, agitación y tiempo de lixiviado, se extraen los metales.

Para comprobar la eficiencia de extracción y darles una aplicación se utilizan técnicas electroquímicas como la voltamperometría cíclica y la cronoamperometría, en las cuales se emplea una celda típica de tres electrodos que se conecta a un equipo llamado potencióstato-galvanostato. Con estas técnicas y el uso de los DES, se ha logrado recuperar Co y Ni de las pilas en porcentajes mayores al 80 %, ¡un gran logro!, ya que esto confirma la eficiencia de estos solventes. (Landa *et al.*, 2020).

Por otro lado, la plata ha sido recuperada de las denominadas baterías de óxido de plata tipo botón (Sánchez *et al.*, 2021); el recuperar este metal por técnicas sencillas y metodologías mucho menos costosas a las tradicionales es un avance significativo, ya que se le puede dar una segunda vida, por ejemplo, en la síntesis de nanopartículas y en la aplicación en catálisis o en la modificación de superficies de los diferentes electrodos de trabajo.

No se trata sólo de extraer o reciclar metales, sino de darles una segunda oportunidad. Al transformarlos y reutilizarlos, estos materiales vuelven a ser parte de la tecnología, la industria y la vida cotidiana, brindando nuevamente su potencial al servicio de la humanidad.

### Contaminantes emergentes: cuantificación, remoción y degradación

En otro contexto, uno de los desechos mayoritarios de los seres vivos es la urea, la cual se excreta vía orina y pasa por el ciclo del nitrógeno, que en cantidades pe-

queñas requieren las plantas para su ciclo vital, pero en concentraciones elevadas causa la eutrofización de ríos y lagos (Saeed *et al.*, 2025); es por ello que es tan importante plantear estrategias que permitan la degradación de este compuesto. Para aprovechar la recuperación de Ni y Co por medio de técnicas electroquímicas, en el AIM se han sintetizado electroquímicamente nanopartículas de estos metales empleando los DES como medio electrolítico, ya que en un medio acuoso la formación de estos nanomateriales es muy difícil de realizar (Doneux *et al.*, 2024). Con las nanopartículas obtenidas se procede a oxidar vía electroquímica la urea (Basilio *et al.*, 2023). Al transformar este compuesto en amoníaco, nitritos y nitratos y cianatos es mucho más sencillo poder eliminarlo de los efluentes y así reducir el riesgo que presenta como contaminante.

La urea no es la única sustancia que puede causar daños al ambiente. Muchos medicamentos que consumimos a diario también pueden volverse tóxicos cuando llegan al agua o al suelo. Por eso es importante medir su presencia desde el control de calidad de los principios activos hasta su detección en el medio ambiente. Una herramienta prometedora para hacerlo son los sensores electroquímicos, que permiten detectar pequeñas cantidades de estos compuestos de forma rápida y precisa. Además, pueden mejorarse fácilmente modificando su superficie con distintos materiales como nanopartículas metálicas. En el proyecto del AIM, por ejemplo, se utilizan nanopartículas obtenidas con una estrategia sostenible para desarrollar sensores capaces de identificar antiinflamatorios no esteroideos (AINE) y antidepresivos de tipo ISRS, dos grupos de medicamentos considerados contaminantes emergentes por su creciente presencia en el ambiente.

Sin embargo, no basta con identificar cuántos de estos contaminantes existen en el ambiente, también es necesario encontrar formas efectivas de eliminarlos del agua antes de que causen más daño. Entre las alternativas más prometedoras se encuentra la fotocatalisis, un proceso que utiliza la luz y nanopartículas de seleniuro de cadmio (CdSe) para descomponer los compuestos tóxicos. Otra opción innovadora es el uso de DES tipo V, ya que éstos permiten extraer y separar dichos compues-

tos de manera más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

## Conclusiones

En los últimos años, los DES han cobrado gran relevancia por su versatilidad y su potencial para hacer más sostenibles diversos procesos industriales. Particularmente, los DES tipo V, por ejemplo, se están utilizando para la remoción de metales pesados en efluentes, ofreciendo una alternativa ecológica para limpiar aguas contaminadas. Por otro lado, los DES tradicionales se han propuesto como medios lixiviantes capaces de extraer metales sin recurrir a los métodos altamente contaminantes y costosos que emplea la industria metalúrgica convencional.

Gracias a estas propiedades, los DES se han convertido en una herramienta clave para enfrentar los problemas ambientales derivados de nuestra propia demanda constante de productos, desde aparatos electrónicos y medicamentos hasta materiales de uso cotidiano. En este sentido, su desarrollo representa un paso firme hacia una química más verde, capaz de recuperar, reutilizar y transformar sin destruir.

Como lo indica el título de este artículo, la ciencia debe estar al servicio de la humanidad y los DES son un claro ejemplo de ello. Si bien no son la solución definitiva a todos los desafíos que hemos generado con nuestra huella antropogénica, sí nos muestran un camino posible: el de la innovación responsable, donde el conocimiento y la tecnología trabajan no sólo para nuestro progreso, sino también para el rescate y bienestar del planeta y de todos los que lo habitamos.

## Agradecimientos

SIRH thanks Conahcyt for the postdoctoral grant (509512). JIAG, SCA, MRR, MPP, MTRS like to thank to the project: «Cuerpos de agua en el Estado de México: monitoreo de contaminantes y una propuesta para su eliminación basada en tratamientos biológicos y de oxidación avanzada» granted within the interinstitutional (UAMEX-IPN-UAM) collaboration framework and to the National System of Researchers (SNI) for the distinction of their membership and the stipend granted.

## Referencias

- Abbott, A. P. (2022). Deep eutectic solvents and their application in electrochemistry. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 36. <https://doi.org/10.1016/J.COAGSC.2022.100649>
- Abranches, D. O. y Coutinho, J. A. P. (2022). Type V deep eutectic solvents: design and applications. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 35. <https://doi.org/10.1016/J.COAGSC.2022.100612>
- Aldana, J., Castro, M. L., Pérez, D. H., Teodocio, B. M., Ortiz, W. S., de Oca, M. G. M., Romero, M. y Estrada, E. M. A. (2024). Electronucleation and growth of metals from aqueous and non-aqueous solvents. *Nucleation and Growth in Applied Materials*, 65-100. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99537-5.00013-1>
- Basilio, A., Landa, M., Sánchez, W., Rivera, S., Romero, M., Arce, E., Aldana, J. y Palomar, M. (2023). One-step Ni-Co alloy nanoparticles electrodeposition from leach liquor of spent Ni-MH batteries using a deep eutectic solvent and its use towards urea electrooxidation. *Electrocatalysis*, 14(6), 869-874. <https://doi.org/10.1007/S12678-023-00842-X>
- Chen, J., Li, Y., Wang, X. y Liu, W. (2019). Application of deep eutectic solvents in food analysis: a review. *Molecules*, 24. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES24244594>
- Doneux, T., Sorgho, A., Soma, F., Rayée, Q. y Bougouma, M. (2024). Electrodeposition in deep eutectic solvents: the «obvious», the «unexpected» and the «wonders». *Molecules*, 29(14). <https://doi.org/10.3390/MOLECULES29143439>
- Landa, M., Aldana, J., Montes de Oca, M. G., Romero, M., Arce, E. M. y Palomar, M. (2020). Ni-Co alloy electrodeposition from the cathode powder of Ni-MH spent batteries leached with a deep eutectic solvent (reline). *Journal of Alloys and Compounds*, 830. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2020.154650>
- Lomba, L., Ribate, M. P., Zaragoza, E., Concha, J., Garra-laga, M. P., Errazquin, D., García, C. B. y Giner, B. (2021). Deep eutectic solvents: are they safe? *Applied Sciences*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/APP112110061>
- Saeed, Z., Habib, H., Noor, A., Gohar, A., Waqar, M. y Urooj. (2025). Urea fertilizer: a journey from an essential nutrients to an emerging pollutant. *Pakistan Journal of Chemistry*, 15(1/2), 23-30. <https://doi.org/10.15228/2025.V15.I1-2.P04>
- Sánchez, W., Aldana, J., Le Manh, T., Romero, M., Mejía, I., Ramírez, M. T., Arce, E. M., Mugica, V. y Palomar, M. (2021). A deep eutectic solvent as leaching agent and electrolytic bath for silver recovery from spent silver oxide batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 168(1). <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ABDB01>
- Smith, E. L., Abbott, A. P. y Ryder, K. S. (2014). Deep eutectic solvents (DES) and their applications. *Chemical Reviews*, 114(21), 11060-11082. [https://doi.org/10.1021/CR300162P/ASSET/IMAGES/LARGE/CR-2012-00162P\\_0004.JPEG](https://doi.org/10.1021/CR300162P/ASSET/IMAGES/LARGE/CR-2012-00162P_0004.JPEG)

## Aliados y enemigos químicos en el laboratorio metálico de nuestra vida diaria

**Anaid Carro Gastelum**

Universidad Autónoma Metropolitana,  
Unidad Azcapotzalco  
[al2253803282@azc.uam.mx](mailto:al2253803282@azc.uam.mx)

**Rocío Abigail Gómez Méndez**

Universidad Autónoma Metropolitana,  
Unidad Azcapotzalco  
[al2193040221@azc.uam.mx](mailto:al2193040221@azc.uam.mx)

**Sandra Loera Serna**

Universidad Autónoma Metropolitana,  
Unidad Azcapotzalco  
[sls@azc.uam.mx](mailto:sls@azc.uam.mx)

### Resumen

Mucho se habla de los metales en aplicaciones industriales; sin embargo, existen algunos esenciales que son primordiales para la existencia de la vida y que juegan un papel fundamental en los ciclos biológicos. Los efectos tanto positivos como negativos de los metales dependen del tipo, de la concentración, del tiempo de exposición o incluso de la edad de las personas cuando están en contacto con ellos. Este artículo explora la importancia de los elementos metálicos, la distinción entre los esenciales y los tóxicos, así como sus efectos nocivos ante la exposición prolongada. Además, se destaca la importancia de contar con información oportuna para implementar cambios de hábitos que reduzcan la exposición y protejan la salud pública.

### Palabras clave

Elementos químicos, metales tóxicos, salud pública, metales esenciales.

### Abstract

Much is said about metals in industrial applications; however, some are essential and fundamental to life, playing a crucial role in biological cycles. The effects of metals, both positive and negative, depend on the type, concentration, duration of exposure, and even the age of the person in contact with them. This article explores the importance of me-

---

APA: Carro, A., Gómez, R. y Loera, S. (2026). Aliados y enemigos químicos en el laboratorio metálico de nuestra vida diaria. *Azcatl*, 7, 31-37, DOI: [10.24275/AZC2026A006](https://doi.org/10.24275/AZC2026A006)

Fecha de recepción: 15 de enero de 2026.

Fecha de aceptación para publicación: 4 de junio de 2026.

tallic elements, the distinction between essential and toxic metals, and the harmful effects of prolonged exposure. It also highlights the importance of timely information for implementing lifestyle changes that reduce exposure and protect public health.

### Keywords

Chemical elements, toxic metals, public health, essential metals.

Todo lo que conocemos, desde la inmensidad de las estrellas hasta la detallada estructura de las células de nuestro cuerpo, tiene un origen común y está construido a partir de los elementos químicos que se encuentran organizados en la tabla periódica. Actualmente conocemos 118 (Qaim *et al.*, 2019). Estos elementos son los bloques fundamentales de la naturaleza y su diversidad permite la complejidad del mundo material; no obstante, en la actualidad, esta misma diversidad nos enfrenta con retos ambientales sin precedentes. La creciente preocupación por la contaminación y sus efectos sobre la vida ha generado un interés crítico en monitorear cómo ciertos elementos interactúan con nuestro entorno (Hou *et al.*, 2025).

En este vasto catálogo de componentes, los metales ocupan un lugar predominante, aproximadamente el 80 % (Qaim *et al.*, 2019). Aunque solemos asociar la pala-

bra (*metal*) con algo frío, sólido y brillante como una viga de acero, la realidad química es mucho más diversa. Los metales se ubican a la izquierda y al centro de la tabla periódica (Figura 1), compartiendo la capacidad de conducir electricidad y calor, pero desempeñando roles biológicos y tecnológicos radicalmente distintos. No todos los metales actúan de la misma forma en la vida y, en particular, en el organismo. Es posible dividirlos en dos grandes categorías que dependen de la interacción que éstos generan en el cuerpo humano: por un lado, están los metales esenciales, que son aquellos que el organismo requiere para funcionar y que sin su presencia se compromete la subsistencia de los seres humanos, por ejemplo, el hierro en la sangre, el zinc en el sistema inmune o el sodio y el potasio en el cerebro; la otra categoría corresponde a los metales tóxicos (o metales pesados) que, a diferencia

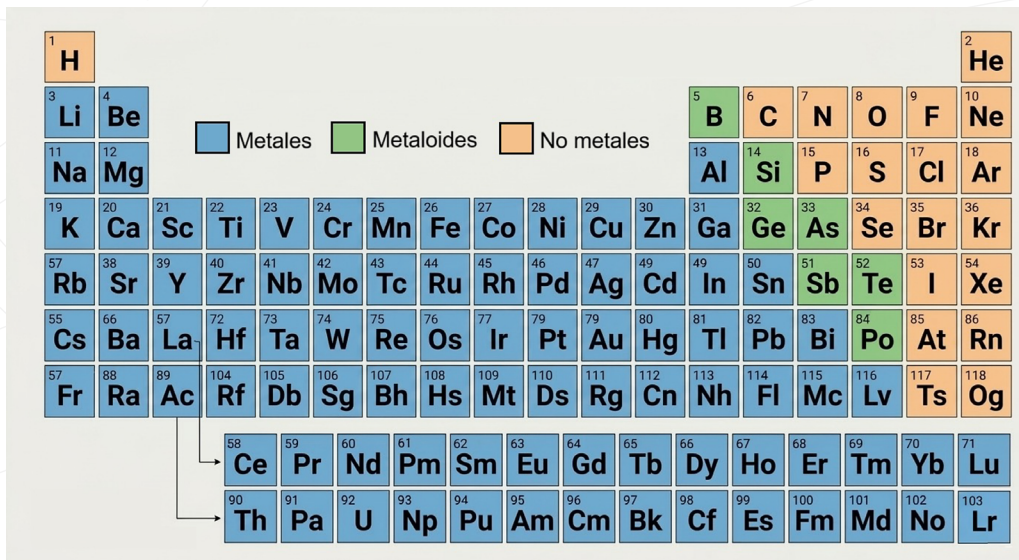


Figura 1. Tabla periódica que clasifica los elementos en metales, metaloides y no metales.

de los metales esenciales, no tienen una función biológica conocida y, por el contrario, pueden interferir con procesos vitales, incluso en cantidades pequeñas.

Mientras algunos son pilares para la salud, otros, como el mercurio (Hg), el cadmio (Cd), el plomo (Pb) y el cromo (Cr), han sido identificados como principales contaminantes debido a su alta toxicidad (Järup, 2003). Dichos metales se han utilizado en diversas aplicaciones (Figura 2), por ejemplo, el mercurio en termómetros; el cadmio en baterías recargables; el plomo en pinturas (aunque en México la NOM-003-SSA1-2006 limita el contenido de este metal en pinturas, barnices y esmaltes); y el cromo en piezas diversas con acabado cromado, como los rines de los automóviles. La exposición a estos iones metálicos es un problema de salud pública global, ya que su acumulación puede derivar en consecuencias graves que incluyen trastornos neurológicos, enfermedades respiratorias, daños renales y cáncer. Comprender qué metales nos rodean y cuáles representan un riesgo real, según su concentración, no es sólo un ejercicio de química, sino también una medida esencial de supervivencia.

## Metales en el día a día

A veces pensamos en los metales como algo lejano, confinado a fábricas o minas, pero la realidad es que estamos sumergidos en un entorno metálico. Los podemos encontrar en cualquier dispositivo electrónico, en el hogar, en la alimentación o incluso en el entorno que nos rodea. Desde que suena la alarma de tu celular hasta que preparas la cena, los metales trabajan para ti. Un solo *smartphone* contiene más de 60 tipos de metales. Por ejemplo, el litio y el cobalto son esenciales para que la batería de tu teléfono sea ligera y recargable; el oro y la plata son excelentes conductores y no se oxidan fácilmente, por lo que se utilizan en los microcircuitos para asegurar que la información circule a toda velocidad; y algunas tierras raras —como el neodimio— son metales menos conocidos, pero vitales para que los altavoces de tus audífonos vibren y produzcan sonido.

Cuando hablamos del hogar y la alimentación, la cocina es, quizás, el laboratorio químico más activo de tu casa. Aquí los metales desempeñan roles tanto positivos como de riesgo, por ejemplo, el aluminio está presente en



Figura 2. Metales tóxicos encontrados en objetos comunes.

utensilios, papel envoltorio y latas, es ligero y resistente, aunque se debate constantemente sobre su migración a los alimentos en condiciones de alta acidez o calor extremo (Stahl *et al.*, 2018); el acero inoxidable es una aleación de hierro, carbono y cromo, este último es el que crea una capa protectora que evita que tu sartén se oxide; y el cobre no sólo está en las tuberías de agua o el cableado eléctrico, sino que también es un micronutriente que encuentras en el chocolate oscuro, las semillas de girasol y los cereales integrales, lo que ayuda a mantener sanos tus vasos sanguíneos.

Existen otras fuentes de exposición a metales tóxicos que, por lo general, no sabemos que están presentes o no logramos detectar de forma directa. Aquí es donde debemos prestar especial atención, ya que estos metales suelen entrar en nuestra vida de forma silenciosa debido a malas prácticas industriales o a la falta de regulación. Es sabido que el mercurio se acumula en la cadena alimentaria marina; los peces grandes (como el atún rojo o el pez espada) pueden contener niveles altos de metilo-mercurio debido a la contaminación de los océanos (Zuluaga *et al.*, 2015). El plomo, aunque ya no se usa en la gasolina, aún puede encontrarse en pinturas de casas antiguas, en ciertos tipos de loza de barro vidriado (si el esmalte contiene plomo) y en juguetes de baja calidad. El cadmio es un metal que se libera principalmente por la quema de combustibles fósiles y el uso de fertilizantes agrícolas, llegando a nosotros a través del humo del tabaco o de vegetales cultivados en suelos contaminados (Pinot *et al.*, 2000).

### La dosis de metales y sus efectos

En toxicología existe una máxima fundamental: la dosis hace el veneno; la diferencia está en la dosis. No obstante, con los metales esta regla tiene matices complejos, pues no sólo se debe considerar la dosis (concentración), existen otros factores que deben tenerse en cuenta, como la bioacumulación y el tiempo de exposición. No sólo importa cuánto entra en nuestro cuerpo, sino cómo nuestro organismo intenta (y a veces falla) lidiar con ello.

A diferencia de otras toxinas que el hígado o los riñones pueden procesar y desechar en cuestión de horas,

muchos metales pesados son bioacumulables. Metales como el plomo son *impostores químicos*, ya que el cuerpo los confunde con minerales esenciales; por ejemplo, el cuerpo confunde el plomo con el calcio, almacenándolo en los huesos durante décadas. Una vez que un metal tóxico entra en el tejido graso o en el sistema óseo, su *vida media* (el tiempo que tarda el cuerpo en eliminar la mitad de la sustancia) puede ser de años o incluso de toda una vida.

Para el mismo ejemplo del plomo, la vida media varía según el tejido en el que se almacena o con el que tenga contacto, pudiendo permanecer en la sangre por aproximadamente 30 días; en los huesos, como se mencionó anteriormente, durante varias décadas; o en el cerebro hasta tres años. El daño neurológico causado dependerá de la edad del paciente y del nivel de exposición (Collin *et al.*, 2022). En los niños, el efecto del plomo, incluso en bajas concentraciones, se ha asociado con deterioros del desarrollo cerebral y conductual que, a su vez, pueden causar disminución del coeficiente intelectual, deficiencias en habilidades motoras y problemas de memoria, por mencionar algunas complicaciones (Becker *et al.*, 2022).

¿Qué hacen exactamente estos metales dentro de nosotros? Su principal mecanismo de ataque es el estrés oxidativo. Los metales pesados actúan como catalizadores que generan radicales libres en exceso; estos radicales libres *oxidan* (dañan) las membranas de nuestras células, alteran el ADN y bloquean la función de las proteínas. Es como si las piezas de una maquinaria de precisión empezaran a oxidarse por dentro: al principio el motor hace ruido, pero eventualmente se detiene. El impacto en la salud depende directamente de la concentración de exposición y si ésta es aguda (muchas cantidades en poco tiempo) o crónica (pequeñas dosis durante años). En la Tabla 1 se enlistan algunos efectos de exposición crónica a metales tóxicos.

Adicionalmente, a pesar de que cada día existen normativas más estrictas que limitan el uso de metales tóxicos o, incluso, ya no se emplean en equipos específicos, todavía es posible encontrarlos en diferentes productos que podrían estar presentes en el hogar. En esta misma tabla, en la última columna, se muestran ejemplos de es-

**Tabla 1.** Efectos por exposición crónica ante algunos metales tóxicos.

Metal	Órgano o tejido	Efecto por exposición crónica	Productos donde se encuentra
Mercurio (Hg)	Sistema nervioso central	Temblores, pérdida de memoria y alteraciones en la visión y audición.	Termómetros, lámparas —incluidos algunos tipos de focos—, productos para aclarar la piel, baterías, salmón, atún, otras variedades de peces, cosméticos de baja calidad, productos farmacéuticos y amalgamas dentales.
Plomo (Pb)	Cerebro y sangre	En niños disminuye el coeficiente intelectual. En adultos causa hipertensión y daño renal.	Desechos electrónicos, pinturas, juguetes, soldaduras, joyería, vajillas, municiones, pigmentos, esmaltes cerámicos y cosméticos y barnices.
Cadmio (Cd)	Riñones y pulmones	Desmineralización ósea (huesos frágiles) y disfunción renal grave.	Baterías, celdas solares, estabilizadores de PVC, tabaco y mariscos (especialmente moluscos).
Arsénico (As)	Piel y sistema vascular	Lesiones cutáneas, problemas de circulación y es un carcinógeno comprobado.	Aguas subterráneas contaminadas, procesos industriales y tabaco.

Nota: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024; Organización Mundial de la Salud, 2026.

pecies o productos de uso cotidiano que podrían contener una concentración riesgosa para la salud.

La dosis que afecta a un adulto sano puede ser devastadora para otros grupos de edad. Los niños absorben metales más rápido porque sus cuerpos están en pleno desarrollo. Sus barreras hematoencefálicas (la protección del cerebro) aún no están totalmente formadas. Mientras que personas que trabajan en minería, soldadura o reciclaje de electrónicos enfrentan concentraciones miles de veces superiores a las de un ciudadano promedio (Skalny *et al.*, 2018).

Se ha hablado de ciertas dosis de metales tóxicos que producen un daño importante en el ser humano, pero la dosis baja de otros también podría ser bastante perjudicial. En este sentido, un metal destacable en el organismo es el sodio. Quizá alguna vez habrás visto que el sodio en contacto con el agua causa una reacción exotérmica altamente violenta, como la que se muestra en la Figura 3; sin embargo, el sodio forma parte del organismo y es muy importante, ya que permite las conexiones neuronales en el cerebro (Noda y Hiyama, 2015). Cuando una persona toma demasiada agua puede disolver el sodio y provocar una condición denominada hiponatremia (deficiencia de sodio), que causa una serie de síntomas como náuseas, fatiga y dolor de cabeza y, en casos muy severos, puede provocar inflamación cerebral y, con ello, la muerte. Así que la recomendación es beber dos litros de agua al día

y, de preferencia, no superar esa cantidad, porque, nuevamente, el veneno está en la dosis.

Otro ejemplo que podría sorprender al lector es el del hierro. Por lo general, se habla de que debemos consumir diariamente una dosis específica y en efecto, se trata de un metal esencial, ya que éste forma parte importante del proceso de oxigenación de la sangre, mantiene niveles de hemoglobina sanos, ayuda a prevenir la anemia, fortalece el sistema inmunológico, ayuda al crecimiento, etcétera. En cuanto a las plantas, el hierro ayuda en la síntesis



**Figura 3.** Reacción de sodio con agua.

Nota: Imagen generada con IA.

de clorofila, participa en diferentes procesos de transferencia de energía y ayuda a la fijación de otros elementos esenciales. No obstante, poco se dice del exceso de este metal en el organismo, un exceso podría afectar órganos vitales, como el hígado, el corazón y el páncreas, lo que genera cirrosis, cáncer de hígado, insuficiencia cardíaca, arritmias o diabetes (Lal, 2020; Corti *et al.*, 1997).

Por otro lado, el magnesio es el cuarto catión que más abunda en el organismo (Glasdam *et al.*, 2016) y es indispensable para una gran variedad de funciones fisiológicas, como la producción de energía, la síntesis de moléculas esenciales, funciones estructurales en los huesos, entre otras. Tener bajas concentraciones de este elemento en nuestro cuerpo puede generar riesgos de enfermedades cardiovasculares, trastornos metabólicos y osteoporosis; pero si, por el contrario, excedemos las concentraciones recomendadas, el magnesio puede resultar en efectos adversos, como letargo, confusión, caída de presión sanguínea y deterioro de la función renal (Linus Pauling Institute, 2026).

### **El arte del equilibrio: ¿cómo navegar en un mundo de metales?**

Después de entender que los metales están en todas partes, la pregunta lógica es: ¿debo preocuparme? La respuesta no es el miedo, sino la información. Mantener una salud óptima requiere un juego de equilibrio, es decir, asegurar que los metales *buenos* entren en las dosis correctas y cerrar la puerta a los *malos*. Para lograrlo es recomendable contar con información precisa y entender la diferencia entre los elementos químicos, en particular entre los metales. Es un error común pensar que debemos *desintoxicar* el cuerpo de todos los metales. Sin el hierro, tus células se asfixiarían; sin el zinc, una simple herida tardaría semanas en sanar, por lo tanto, no es necesario someterse a *dietas desintoxicantes* o no se deben consumir suplementos agresivos sin supervisión médica. Una dieta variada suele ser suficiente para obtener los metales esenciales. Por otro lado, debido a que la exposición a metales pesados suele ser silenciosa, para reducirla se pueden hacer pequeños cambios en tus hábitos, por ejemplo:

- Evita cocinar o almacenar alimentos ácidos (como salsa de tomate o limones) en recipientes de barro vidriado tradicional, si no tienes la certeza de que el esmalte es libre de plomo.
- Si vives en una zona con tuberías antiguas, deja correr el agua unos segundos antes de beberla o utiliza filtros certificados para eliminar metales pesados.
- Muchos metales tóxicos entran al cuerpo por la boca, por lo que lavarse las manos antes de comer —especialmente después de manipular pilas, aparatos electrónicos o trabajar en el jardín— es una barrera de defensa sencilla pero poderosa.
- Como ya se mencionó, la toxicidad también depende de la concentración y el tiempo de exposición. No te alarmes por usar un sartén de aluminio una vez, pero sé consciente si continuamente usas productos que podrían acumularse en tu cuerpo a largo plazo. Conoce de dónde provienen tus alimentos y qué regulaciones ambientales existen en tu comunidad. El consumo de productos locales y certificados suele reducir el riesgo de contaminantes industriales.
- Si tienes niños en casa o estás embarazada, la precaución debe ser mayor. El desarrollo neurológico es extremadamente sensible a metales como el mercurio y el plomo. Evita que los niños jueguen con llaves viejas, juguetes pintados sin certificación o baterías sulfatadas. Los metales no son *buenos* o *malos* por naturaleza, son elementos del universo. El secreto está en saber cuáles invitar a nuestra mesa y cuáles mantener fuera de nuestro organismo.

### **Referencias**

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2024). *Toxicological profile for lead/mercury/cadmium*. U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/files/tp46.pdf>
- Becker, F., Marcantonio, F., Datta, S., Wichterich, C., Cizmas, L., Surber, J., Kennedy, K. y Bowles, E. J. E. R.

- (2022). Tracking the source of contaminant lead in children's blood. *Environmental Research*, (212). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113307>
- Collin, M. S., Venkatraman, S. K., Vijayakumar, N., Kanimozhi, V., Arbaaz, S. M., Stacey, R. G. S., Anusha, J., Choudhary, R., Lvov, V., Tovar, G. I., Senatov, F., Koppala, S. y Swamiappan, S. (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: a review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100094>
- Corti, M. C., Gaziano, M. y Hennekens, C. H. (1997). Iron status and risk of cardiovascular disease. *Annals of Epidemiology*, 7(1), 62-68. [https://doi.org/10.1016/S1047-2797\(96\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S1047-2797(96)00112-3)
- Glasdam, S. M., Glasdam, S. y Peters, G. H. (2016). The importance of magnesium in the human body: a systematic literature review. *Advances in Clinical Chemistry*, 73, 169-193. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2015.10.002>
- Hou, D., Jia, X., Wang, L., McGrath, S. P., Zhu, Y. G., Hu, Q., Zhao, F. J., Bank, M. S., O'Connor, D. y Nriagu, J. (2025). Global soil pollution by toxic metals threatens agriculture and human health. *Science*, 388, 316-321. <https://doi.org/10.1126/science.adr5214>
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68 (1), 167-182. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>
- Lal, A. (2020). Iron in health and disease: an update. *The Indian Journal of Pediatrics*, 87 (1), 58-65. <https://doi.org/10.1007/s12098-019-03054-8>
- Linus Pauling Institute. (2026). *Magnesium*. Oregon State University. <https://lpi.oregonstate.edu/es/mic/minerales/magnesium>
- Noda, M. y Hiyama, T. Y. (2015). Sodium sensing in the brain. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, 467 (3), 465-474. <https://doi.org/10.1007/s00424-014-1662-4>
- Organización Mundial de la Salud. (2026). *Página de inicio*. <https://www.who.int/es>
- Pinot, F., Kreps, S. E., Bachelet, M., Hainaut, P., Bakonyi, M. y Polla, B. S. (2000). Cadmium in the environment: sources, mechanisms of biotoxicity, and biomarkers. *Reviews on Environmental Health*, 15 (3), 299-324. <https://doi.org/10.1515/reveh.2000.15.3.299>
- Qaim, S. M., Kratz, J. V. y Simoni, E. (2019). 150 years of the periodic table of chemical elements. *Radiochimica Acta*, 107 (9-11), 767-769. <https://doi.org/10.1515/ract-2019-9983>
- Skalny, A. V., Simashkova, N. V., Skalnaya, A. A., Klyushnik, T. P., Zhegalova, I. V., Grabeklis, A. R., Skalnaya, M. G. y Tinkov, A. A. (2018). Trace element levels are associated with neuroinflammatory markers in children with autistic spectrum disorder. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 50, 622-628. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.04.031>
- Stahl, T., Falk, S., Taschan, H., Boschek, B. y Brunn, H. (2018). Evaluation of human exposure to aluminum from food and food contact materials. *European Food Research and Technology*, 244 (12), 2077-2084. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3124-2>
- Zuluaga, J., Gallego, S. E. y Ramírez, C. M. (2015). Content of Hg, Cd, Pb and as in fish species: a review. *Vitae*, 22 (2), 148-149. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v22n2a09>

## Proteínas y metano. La ganadería urbana de la CDMX

**Nallely Sánchez López**  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Xochimilco  
[nsanchezl@correo.xoc.uam.mx](mailto:nsanchezl@correo.xoc.uam.mx)

**Germán David Mendoza Martínez**  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Xochimilco  
[gmendoza@correo.xoc.uam.mx](mailto:gmendoza@correo.xoc.uam.mx)

**Pablo Benjamín Razo Ortiz**  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Xochimilco  
[mvzrazo@gmail.com](mailto:mvzrazo@gmail.com)

**Cesar Díaz Galván**  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Xochimilco  
[cesarwardi4@gmail.com](mailto:cesarwardi4@gmail.com)

### Resumen

Se evaluaron los inventarios pecuarios, la producción animal y las emisiones de metano en la Ciudad de México en las últimas dos décadas. Los inventarios mostraron variaciones entre especies, mientras que la producción se mantuvo o incrementó según la especie. En 2022, las emisiones pecuarias alcanzaron 555 437 kg CH<sub>4</sub> /año, con la mayor concentración en Tlalpan, Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco, con predominio de bovinos como principal fuente de metano. Los resultados evidencian la necesidad de fortalecer el manejo productivo y considerar estrategias de mitigación para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones en los sistemas pecuarios locales.

### Palabras clave

Producción pecuaria, metano, estimaciones.

### Abstract

Livestock inventories, animal production, and methane emissions in Mexico City were evaluated over the last two decades. The inventories showed variations among species, while production either remained stable or increased depending on the species. In 2022, livestock emissions reached 555 437 kg CH<sub>4</sub> /year, with the highest concentrations in Tlalpan, Milpa Alta, Tláhuac, and Xochimilco, where cattle predominated as the main source of methane. The results hi-

APA: Sánchez, N., Mendoza, G., Razo, P. y Díaz, C. (2026). Proteínas y metano. La ganadería urbana de la CDMX. *Azcatl*, 7, 39-43,  
DOI: [10.24275/AZC2026A006](https://doi.org/10.24275/AZC2026A006)

Fecha de recepción: 22 de octubre de 2025. Fecha de aceptación para publicación: 6 de febrero de 2026.

highlight the need to strengthen production management and consider mitigation strategies to improve efficiency and reduce emissions in local livestock systems.

## Keywords

Livestock production, methane, estimations.

## Introducción

México ocupa el lugar once dentro de las naciones más grandes del mundo, con una población que en las últimas décadas ha ido en aumento (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2019). A nivel nacional, el Estado de México y la Ciudad de México (CDMX) son las entidades más pobladas, concentrando el 20% de la población del país (Secretaría de Desarrollo Económico [Sedeco], 2020). Este aumento poblacional ha generado una creciente demanda de alimentos, lo que representa un desafío para los productores que se enfrentan con limitantes en sus unidades de producción, tales como problemas de alimentación, escasez de agua, reducción de áreas de pastoreo, bajo nivel tecnológico, así como problemas globales como el cambio climático, la salud pública y el bienestar animal (Rocha, 2015).

La producción pecuaria continúa siendo una actividad relevante en la CDMX, generando empleos y aportando alimentos a la población (Data México, 2025). En este documento se analiza el desarrollo de la producción pecuaria a través de los años a nivel nacional; particularmente, se estimaron las emisiones de gases de efecto invernadero entérico en la CDMX provenientes de la actividad pecuaria, con el objetivo de identificar propuestas en futuras políticas públicas efectivas para mitigar su impacto ambiental. El propósito de este trabajo es presentar un diagnóstico del sector pecuario de la CDMX que sirva como base para la toma de decisiones futuras o propuestas de políticas públicas que estimulen la producción de alimentos y paralelamente se reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero de origen entérico.

## Material y métodos

Se revisaron datos históricos, en las últimas dos décadas, disponibles en fuentes de información estadística

a nivel nacional y del Gobierno de la Ciudad de México sobre producción pecuaria de ganado bovino de leche y carne, ovinos, cerdos, caprinos y aves. La producción anual de metano entérico (kg CH<sub>4</sub>/cabeza/año) se estimó con el método Tier (Gibbs *et al.* 2002) para la población ganadera (nacional y de la CDMX).

## Resultados y discusión

De acuerdo con el Censo Agropecuario (2022), en el país existen 4 629 134 unidades de producción (UP) dedicadas al sector primario, donde el 0.24 % (11 410 UP) corresponde a CDMX, siendo Milpa Alta, Xochimilco y Tlalpan las alcaldías que concentran mayores UP. Entre 2007 y 2022, el número de UP aumentó un 13.73 % en la ciudad (Gobierno de la Ciudad de México, 2022), aumento que podría explicarse por incentivos económicos que la administración federal otorgó al sector primario como apoyo para fomentar la creación de nuevas unidades de producción (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [Sader], 2024).

### *Producción pecuaria ganado ovino*

Entre 2014 y 2023, a nivel nacional, el inventario ovino aumentó 3.04 %, pasando de 8 575 908 a 8 836 730 cabezas (Inegi, 2022), mientras que en la CDMX se registró una reducción del 17 % en el mismo periodo (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2023).

En la CDMX, entre 2006 y 2023, el número de animales sacrificados se incrementó en 36.51 % y se estima una mejora del 11.01 % en el rendimiento por animal (SIAP, 2023), lo que se tradujo en un aumento del 52.71 % en la producción de carne ovina. No obstante, estos resultados no necesariamente reflejan una mejora real en la eficiencia productiva, sino que están asociados, en buena medida, con el sacrificio de hembras reproductoras

(vientres), práctica que incrementa el volumen de carne en el corto plazo, pero compromete la capacidad reproductiva y la sostenibilidad del hato a mediano plazo. En este contexto, además de programas prioritarios de alimentación y medicina preventiva, resulta indispensable la implementación de esquemas de reemplazo de vientres y manejo reproductivo planificado, complementados con estrategias de mejoramiento genético que permitan recuperar y fortalecer la planta productiva sin recurrir al incremento del inventario ni a la descapitalización reproductiva del sistema.

Milpa Alta y Tlalpan son alcaldías que concentran la mayor cantidad de cabezas de ganado ovino en la CDMX, con sistemas de producción basados en pastoreo, combinando actividades ganaderas y de agricultura (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [Senasica], 2017), lo que permite diversificar sus fuentes de ingresos. En las últimas dos décadas, la superficie destinada al sector primario disminuyó 0.32 %, esta ligera disminución puede ser consecuencia del aumento en la mancha urbana debido a la creciente población en la CDMX (Inegi, 2022).

### Producción porcina

De acuerdo con la Tabla 1, entre 2006 y 2023, en CDMX, el inventario porcino mostró un leve incremento del 2.71 %, aunado a un aumento de 2.66 % en la producción de carne porcina. El número de animales sacrificados disminuyó en 3.93 % y el rendimiento por animal mejoró 7.96 %, lo que refleja cambios en la alimentación, prácticas de manejo y genética.

### Producción de ganado bovino leche/carne

A nivel nacional, el inventario bovino aumentó 11.2 % entre 2014 y 2023; mientras que en la CDMX, durante el periodo 2006-2023, la producción bovina se redujo en 33.41 %, porcentaje acompañado por una disminución del 32.76 % en la producción de carne y una reducción del 35.59 % en el número de animales sacrificados (Tabla 1).

Estos indicadores reflejan una disminución sostenida en la actividad productiva del ganado bovino, lo cual puede ser por causa de la presión urbana, es decir, por la alta demanda de agua y alimento que caracteriza esta especie en zonas urbanas.

**Tabla 1.** Producción pecuaria de la CDMX de los años 2006 al 2023 y porcentaje de cambio entre 2006 y 2023.

Especie	Producto	CDMX 2006	CDMX 2023	% cambio
Aves	Carne	44.63	50.95	14.16
	Huevo	158.9	78.78	-50.42
	Ave en pie	55.51	65.89	18.70
	Animal sacrificado	23 093	25326	9.67
	Rendimiento	1.99	2.02	1.51
Bovino	Carne	827.27	556.23	-32.76
	Leche	13 138.02	11 346.99	-13.63
	Bovino en pie	1557.71	1037.25	-33.41
	Animal sacrificado	3833	2469	-35.59
	Rendimiento	211.77	223.62	5.60
Ovino	Carne	142.25	217.23	52.71
	Ovino en pie	277.83	416.11	49.77
	Animal sacrificado	6978	9526	36.51
	Rendimiento	20.71	22.99	11.01
Porcino	Carne	1574.5	1616.34	2.66
	Cerdo en pie	2033.7	2088.9	2.71
	Animal sacrificado	20337	19 538	-3.93
	Rendimiento	76.79	82.9	7.96

Nota. SIAP, 2023.

### Producción de aves

En la CDMX, el inventario de aves creció 18.7 % y el número de animales sacrificados aumentó 9.67 %. El rendimiento mejoró 1.51 %, con un incremento del 14.16 % en la producción de carne, lo que indica una expansión moderada del subsector avícola orientado a la carne. En contraste, la producción de huevo se redujo en un 50.42%, situación que no es contradictoria con el aumento del inventario total, ya que este último está principalmente asociado con sistemas de engorda y no con unidades especializadas en postura. La disminución en la producción de huevo puede atribuirse a problemas sanitarios y al bajo número de unidades de producción especializadas en postura, de las cuales se reportan sólo ocho (Senasica, 2025).

### Producción de kg/CH<sub>4</sub>/día

A nivel nacional, las emisiones de metano de la ganadería aumentaron 11 % en la última década, siendo los bovinos la principal fuente, aportando más del 93 % del metano pecuario, esto debido a su tamaño corporal y mayor consumo y fermentación de forrajes en comparación con otras especies. En la CDMX, la ganadería emitió 555 437 kg CH<sub>4</sub>/año en 2022 (Tabla 2). La mayor contribución proviene de Tlalpan (31.4 %), Milpa Alta (30.9 %), Tláhuac (17.1 %) y Xochimilco (14.0 %), alcaldías donde se concentra la actividad pecuaria.

La Tabla 2 muestra que los bovinos generan el 54.7 % de las emisiones pecuarias, seguidos por ovinos (26.9%), porcinos (3.3 %) y caprinos (1.2 %), mientras que el porcentaje restante corresponde a otras especies pecuarias

incluidas en la estimación total. Esto confirma a los bovinos como la principal fuente de metano dentro del sector pecuario de la CDMX y subraya la necesidad de aplicar estrategias de mitigación, como mejoras en la alimentación, manejo de forrajes, suplementación y aditivos nutracéuticos, orientadas a reducir las emisiones sin comprometer la productividad.

### Conclusiones

La población de especies domésticas en la CDMX presenta tendencias diversas; sin embargo, la producción, salvo en el caso de los bovinos y de la avicultura de postura, ha mejorado gracias a una mayor eficiencia en las unidades de producción, lo que plantea nuevos retos en términos de sostenibilidad ambiental. El aumento de la actividad productiva hace cada vez más imprescindible la adopción de tecnologías y prácticas zootécnicas orientadas a mejorar la eficiencia productiva y, de manera paralela, reducir la intensidad de metano entérico por kilogramo producido. La incorporación de estrategias como mejoras en la alimentación, manejo de forrajes, suplementación y el uso de aditivos nutracéuticos representa una oportunidad clave para mitigar las emisiones sin comprometer la productividad y fortalecer la oferta de alimentos de origen pecuario en la ciudad.

### Referencias

Data México. (2025). *Trabajadores en actividades ganaderas y en la cría de animales*. Secretaría de Economía. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/>

Tabla 2. Estimaciones de metano por cabeza de ganado por alcaldía (kg CH<sub>4</sub>/cabeza/año).

Especie	Cuajimalpa	Iztapalapa	Magdalena Contreras	Milpa Alta	Álvaro Obregón	Tláhuac	Tlalpan	Xochimilco	CDMX
Ovinos	1 335	15	4 115	76 700	1265	13 790	52 100	14 875	149 320
Porcinos	617	30	446	8438	575	5 792	2 370	2 739	18 266
Bovinos	2 240	6 272	17 920	83 216	784	74 872	118 328	59 640	303 632
Caprinos	330	0	715	3065	50	590	1 655	560	6 405
Total CH <sub>4</sub>	4 522	6 317	23 196	171 419	2674	95 044	174 453	77 814	555 437
Aporte %	0.81	1.14	4.18	30.86	0.48	17.11	31.41	14.01	100.00

[es/profile/occupation/trabajadores-en-actividades-ganaderas-y-en-la-cria-de-animales#:~:text=En%20el%20segundo%20trimestre%20de%202024%2C%20los%20hombres%20ocupados%20en,hombres%20y%2023.4k%20mujeres](https://profile/occupation/trabajadores-en-actividades-ganaderas-y-en-la-cria-de-animales#:~:text=En%20el%20segundo%20trimestre%20de%202024%2C%20los%20hombres%20ocupados%20en,hombres%20y%2023.4k%20mujeres)

Gibbs, M., Conneely, D., Johnson, D., Lasse, K. R. y Ulyatt, M. J. (2002). *CH<sub>4</sub> emissions from enteric fermentation*. Intergovernmental Panel on Climate Change. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4\\_1\\_CH4\\_Enteric\\_Fermentation.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4_1_CH4_Enteric_Fermentation.pdf)

Gobierno de la Ciudad de México. (2022). *Bienestar para el campo*. <https://gobierno.cdmx.gob.mx/noticias/bienestar-para-el-campo/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). *Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2019*. <https://www.Inegi.org.mx/programas/ena/2019/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2022). *Población total*. <https://cuentame.Inegi.org.mx/default.aspx>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023). *Censo agropecuario 2022: resultados definitivos*. <https://www.Inegi.org.mx/programas/cagf/2022/>

Rocha, M. A. (2015). Políticas de desarrollo regional y municipal sustentable: estudio de caso de la región oriental metropolitana de la Ciudad de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2, 213-221. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263141553026.pdf>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). *Apoyos directos a productores en este sexenio impulsaron la producción de alimentos y el bienestar en el campo*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/apoyos-directos-a-productores-en-este-sexenio-impulsaron-la-produccion-de-alimentos-y-el-bienestar-en-el-campo?idiom=es>

Secretaría de Desarrollo Económico. (2020). *Principales resultados del Censo Población y Vivienda 2020*. <https://www.sedeco.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/resultados-del-censo-pob-y-viv-2020-1.pdf>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Ovino: población ganadera (cabezas)*. Gobierno de México. [https://nube.siap.gob.mx/poblacion\\_ganadera/](https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera/)

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2017). *Producción agrícola certificada*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/senasica/articulos/produccion-agricola-certificada?idiom=es>

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2025). *Población avícola por unidad de producción y entidad federativa*. Gobierno de México. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/unidades-de-produccion-avicola-registradas/resource/5e3d6cfo-a6ec-404b-8be8-643d8do2bdd8>



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA