

CIENCIA VITAL

Revista de Divulgación Científica de la UACJ
ISSN: 3061-7944

Por qué no vas a dejar de tararear Aserejé

mientras lees este artículo

¿Es la biotecnología una nueva moda?

Materiales orgánicos

para una electrónica sostenible: aplicaciones
en dispositivos vestibles

La nueva era de la movilidad

autónoma: ingeniería mecánica y diseño industrial

Préstamos relámpago:

la ingeniería financiera detrás del arbitraje cripto

Del usuario a la solución:

cómo el diseño axiomático puede apoyar el
diseño industrial

Nociones, ideas y pensamientos

en torno a las baterías de ion-litio

Geología médica frente

a los retos globales: ciencia al servicio de la sociedad

¿Sabías que un antibiótico

tarda años en llegar a las farmacias?

Descubre cómo se crea uno

Aplicaciones clínicas de la inteligencia artificial

en mamografía: Desafíos y oportunidades
en la práctica radiológica

Embarazo adolescente

en México: un desafío que persiste

El mito de las personalidades

múltiples: una historia de novela

UACJ INSPIRA EL
FUTURO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

Dr. Daniel Constandse Cortez
Rector

Mtra. Guadalupe Gaytán Aguirre
Secretaria Académica

C. D. Salvador David Nava Martínez
Secretario General

Dr. Fausto Aguirre Escárcega
Director del Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte

Mtra. Tania Dolores Hernández García
Directora del Instituto de Ciencias Biomédicas

Dr. Erwin Adán Martínez Gómez
Director del Instituto de Ingeniería y Tecnología

Dr. Jesús Meza Vega
Director del Instituto de Ciencias Sociales y Administración

Dra. Nelly Gordillo Castillo
Jefa del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación

CIENCIA VITAL, volumen 4, número 3, julio-septiembre 2026, ISSN: 3061-7944. Es una revista de divulgación científica arbitrada mediante revisión por pares doble ciego, publicación trimestral, seriada y en línea, editada por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez a través del Consejo Editorial, Avenida del Charro núm. 450 norte, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C. P. 32310, teléfono +52 (656) 688-4841, <https://cienciavital.uacj.mx>, cienciavital@uacj.mx. Editora responsable: Dra. Nelly Gordillo Castillo. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo no. 04-2024-032714020600-102, otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Dra. Nelly Gordillo Castillo. Fecha de la última actualización: 30 de septiembre de 2026. Las opiniones expresadas en los documentos publicados son responsabilidad exclusiva de sus autores. Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes, siempre y cuando se cite la fuente.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

EDICIÓN GENERAL

Dra. Nelly Gordillo Castillo
Editora Jefa
Dr. Alberto Davis Ortiz
Coordinador General

PRODUCCIÓN

Dr. Edgar Eliezer Martínez Espinola
Director Creativo
Mtro. Leonardo Arroyo Ortega
Administrador Web
César Arturo Muñoz Carrasco
Maquetación y producción editorial
Karla María Rascón
Diseño Editorial
América Itzayanne Ledesma Soriano
Edición Gráfica

REDES SOCIALES

Dr. Edgar Eliezer Martínez Espinola
Mtro. José Miguel Morales

NOTICIENCIAS

Dra. Nelly Gordillo Castillo
Editora de sección



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?

Dr. Alberto Davis Ortiz
Editor de Sección



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?

Dr. Alberto Davis Ortiz
Editor de Sección



CIENCIAS APLICADAS

Dr. Manuel Alejandro Cháirez Ortega
Editor de Sección



DIMENSIONES ÉTICAS

Dra. Nelly Gordillo Castillo
Editora de Sección



CIENCIAS BÁSICAS

Dr. Héctor Alejandro Trejo Mandujano
Editor de Sección



ENTREVISTAS

Dr. Alberto Davis Ortiz
Editor de Sección



CIENCIAS DE LA SALUD

Dra. Alejandra Vargas Caraveo
Editora de Sección



SALUD MENTAL

Mtra. Ana Cecilia Gutiérrez de la Peña
Dra. Bertha Musi Lechuga
Editoras de Sección



CIENCIAS SOCIALES

Dr. Alberto Davis Ortiz
Editor de sección

UACJ POR EL MUNDO

Dr. Alberto Davis Ortiz
Editor de Sección



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO



Acerca de ciencia vital

Ciencia Vital Revista de Divulgación Científica de la UACJ es una publicación seriada, en línea, publicada en modalidad continua con cuatro números anuales por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) a través del Consejo Editorial. Su propósito fundamental es tender puentes entre el conocimiento científico y la comunidad en general. Con Ciencia Vital, buscamos acercar la ciencia a las personas de una forma clara, accesible y, sobre todo, confiable

REVISIÓN POR PARES

Cada manuscrito sometido a Ciencia Vital es meticulosamente evaluado a través de un riguroso proceso de revisión por pares doble ciego. Este proceso asegura la calidad, relevancia y rigor científico de cada artículo. Nuestros revisores, expertos en sus respectivos campos, aportan sus conocimientos y perspectivas críticas para garantizar que cada trabajo cumpla con los más altos estándares académicos

INVITACIÓN A CONTRIBUIR

Extendemos una cordial invitación a investigadores, académicos y expertos a considerar Ciencia Vital para la publicación de sus trabajos. Su contribución es esencial para continuar construyendo un conocimiento científico accesible, confiable y de vanguardia.

ACCESO ABIERTO PARA AMPLIFICAR EL CONOCIMIENTO

Comprometidos con la democratización del conocimiento, Ciencia Vital opera bajo un modelo de acceso abierto. Esto significa que todos los artículos son accesibles sin costo alguno para los lectores de todo el mundo, fomentando una mayor difusión y un impacto más amplio de las investigaciones presentadas. Aunado a esto, las publicaciones se comparten en la página web cienciavital.uacj.mx y a través de nuestras redes académicas y sociales en un formato amigable que fácilmente puede ser compartido

DIVERSIDAD Y COLABORACIÓN INTERNACIONAL

Alentamos la participación de autores de todo el mundo, creando un espacio inclusivo y diverso para la discusión científica. Nuestra plataforma fomenta la colaboración internacional, regflejando la naturaleza global de la ciencia y la investigación.

INNOVACIÓN Y ACTUALIDAD EN LA INVESTIGACIÓN

Los autores de Ciencia Vital están en la vanguardia de sus campos, presentando investigaciones innovadoras y relevantes. A través de su trabajo, abordan desafíos actuales y ofrecen nuevas perspectivas y soluciones.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



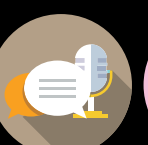
CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

Contenido

Por qué no vas a dejar de tararear Aserejé
mientras lees este artículo

¿Es la biotecnología una nueva moda?

Materiales orgánicos
para una electrónica sostenible: aplicaciones en dispositivos vestibles

La nueva era de la movilidad
autónoma: ingeniería mecánica y diseño industrial

Préstamos relámpago:
la ingeniería financiera detrás del arbitraje cripto

Del usuario a la solución:
cómo el diseño axiomático puede apoyar el diseño industrial

Nociones, ideas y pensamientos
en torno a las baterías de ion-litio

Geología médica frente
a los retos globales: ciencia al servicio de la sociedad

¿Sabías que un antibiótico
tarda años en llegar a las farmacias? Descubre cómo se crea uno

Aplicaciones clínicas de la inteligencia artificial
en mamografía: Desafíos y oportunidades en la práctica radiológica

Embarazo adolescente en México:
un desafío que persiste

El mito de las personalidades
múltiples: una historia de novela



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 3, julio-septiembre 2026

<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.03.cie.01>
e0403CIE01

CIENCIA VITAL
Revista de Divulgación Científica de la UACJ
ISSN: 2603-9441

Por qué no vas a dejar de tararear Aserejé mientras lees este artículo



Francisco Durán Ponce¹



¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez <https://orcid.org/0009-0009-5868-3741>
fdurponce@gmail.com



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

RESUMEN

Las imágenes musicales involuntarias, conocidas coloquialmente como earworms, son una experiencia cotidiana en la que fragmentos de canciones se repiten espontáneamente en nuestra mente, a menudo en forma de bucles. Aunque todavía existen interrogantes sobre sus causas, se ha observado que suelen estar relacionadas con melodías simples, repetitivas, familiares y fáciles de cantar o tararear. Entre las explicaciones propuestas se encuentra el efecto Zeigarnik, según el cual nuestra mente tiende a mantener activa información incompleta y busca completarla; también se plantea que estos episodios pueden relacionarse con el impulso inconsciente de reproducir ciertas frases musicales o con características de las propias canciones que facilitan su recuerdo. Sin embargo, aún no existe una explicación única del fenómeno y persisten diferencias sobre cómo definirlo y estudiarlo. Comprender por qué una canción se queda “pegada” puede aportar información valiosa sobre el funcionamiento de la memoria, la repetición mental y la manera en que nuestro cerebro procesa la música.

Introducción

¿Alguna vez se ha despertado cantando Bohemian Rhapsody? ¿Ha adoptado el ritmo de una cumbia al trabajar? ¿Ha estado caminando, escucha Aserejé en la radio y después no puede dejar de escucharla dentro de su cabeza como si fuera un tumor cerebral (quizá peor)?

Esta experiencia de tener una canción dando vueltas una y otra vez en la mente es mucho más común de lo que podría parecer (Figura 1).



Figura 1. Representación de una imagen musical involuntaria.

Definición

Conocidas coloquialmente en inglés como earworms —literalmente, “gusanos de oído”—, hay canciones que, lo queramos o no, permanecen en nuestra mente. A pesar de que existen diversas definiciones de este fenómeno, estas experiencias pueden englobarse dentro del término imagen musical involuntaria (INMI): fragmentos musicales que se repiten mentalmente sin un esfuerzo consciente ni un estímulo externo [1]. Tienden a aparecer en forma de bucle, ser repetitivos y corresponder a piezas familiares para quien los experimenta [2].



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

Estos bucles pueden contener brechas de silencio e interrupciones temporales [3] y durar periodos cortos o, incluso, el día entero [4]. Aunque pueden ser molestos, no se consideran fenómenos patológicos [2]. Para fines de este escrito, se utilizarán las siglas INMI.

¿Por qué la música?

Sin embargo, vale la pena preguntarnos: ¿por qué es la música la que permanece de esa manera? ¿Por qué no alguna conversación o un poema? ¿Qué la vuelve un estímulo tan poderoso? Estas han sido preguntas planteadas por diversos grupos de investigadores y, para muchos, lo que da esa permanencia a la música es su estructura inherente.

Por ello, diversos estudios se han enfocado en procesos relacionados con la memoria, el movimiento o las subvocalizaciones —la reproducción silenciosa o casi imperceptible de sonidos o palabras— [5], a la vez que se ha tratado de inducir este fenómeno en condiciones controladas o mientras se efectúan otras tareas [6], [7]. Sin embargo, su estudio se ha complicado debido a que requiere que el propio participante reporte cuándo ocurre, lo que introduce factores que varían de acuerdo con el método empleado [4].

También se ha mostrado que la música que se convierte en una INMI presenta una amplia variabilidad y depende mucho del tipo de música al que el individuo está expuesto, de su gusto personal y de su significado emocional [2].

En cuanto a su estructura, vale la pena señalar que elementos como la melodía, el ritmo y la repetición constante vuelven a la música especialmente adecuada para provocar INMI, lo cual no ocurre de la misma manera con el lenguaje hablado, incluso en la declamación [8]. También influye que el fragmento musical no sea complejo: mientras más repetitiva y fácil de cantar sea la pieza, mayores serán las posibilidades de que permanezca en la mente [9]. Lo mismo sucede con piezas que ya son familiares para quien las escucha y que tienen letras simples y repetitivas, en especial los coros, incluso cuando se trata de canciones en un idioma que la persona no conoce [1].

Factores que influyen

A pesar de que influye el estado mental del individuo, existen discrepancias sobre el modo en que la carga mental interviene en la aparición de las INMI. Aunque algunos autores relacionan una carga cognitiva baja —es decir, una menor demanda de atención y esfuerzo mental— con su aparición [10], otros también las han asociado con cargas cognitivas altas [6]. La divagación mental también ha recibido atención; Smallwood [11] propone considerar los eventos desencadenantes, el valor de la experiencia y la capacidad interna para autorregular los procesos mentales.

También se han hecho distinciones entre factores internos y externos. Aunque los estados emocionales pueden predisponer a la aparición de INMI, los eventos desencadenantes pueden ser externos o internos, siendo los primeros los más comunes, como determinados eventos, lugares u objetos [1]. Después de todo, si una pieza genera una respuesta emocional, puede resultar más fácil retenerla.

Por ello, otro factor que podría influir sería el estrés, en especial cuando genera altas cargas cognitivas. Buchanan y Tranel [12] encontraron que las personas que presentaban una mayor liberación de cortisol, una hormona relacionada con la respuesta del organismo al estrés, mostraban una menor recuperación de recuerdos, en especial ante estímulos negativos. Esto sugiere que el estrés podría ser un factor capaz de disminuir, en determinadas circunstancias, la presencia de INMI.

Finalmente, también se han relacionado aspectos voluntarios e involuntarios de las imágenes musicales con rasgos de personalidad como el neuroticismo y la apertura a nuevas expe-



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

riencias [4], [13], así como con rasgos obsesivo-compulsivos que podrían, incluso, aumentar esa retención [3].

Teorías propuestas

Se han propuesto diversos mecanismos para explicar este fenómeno. Uno de ellos es el efecto Zeigarnik, según el cual las tareas o experiencias incompletas pueden permanecer activas en la memoria. Aplicado a la música, al recordar un fragmento incompleto de una canción, la mente buscaría inconscientemente completarlo, lo cual podría contribuir a explicar la naturaleza involuntaria, repetitiva y cíclica de esta experiencia [6], [14].

Otra teoría sugiere que, debido a que las INMI reportadas tienden a corresponder a canciones fáciles de cantar, estas podrían surgir de un deseo inconsciente de cantar o tararear determinadas frases [5]. Esto también involucra la articulación subvocal. Al reproducir el fragmento musical, el individuo activa repetidamente el bucle fonológico, un sistema de la memoria de trabajo que permite mantener temporalmente información verbal o sonora, reforzando esa información: cuanto más se repite ese fragmento, más se fortalece su recuerdo [7].

Finalmente, se ha propuesto que existen fragmentos de información que, por sus características, son más fáciles de retener y recuperar; en este caso, los fragmentos musicales. Los segmentos repetitivos tienden a ser más fáciles de cantar y de retener [9]. Asimismo, las piezas musicales cuya parte final encaja con la inicial pueden convertirse con mayor facilidad en bucles y, con ello, aumentar su repetición y permanencia en la memoria [8].

Cabe señalar que las INMI no solo pueden contribuir a la consolidación de la música en sí, sino también de información asociada con ella [7].

Huecos en la información

Sin embargo, aún hay brechas en el conocimiento de este fenómeno, principalmente porque no existe una teoría unificada que lo explique [2], [15]. Esto se debe, en parte, a que diversos estudios se han enfocado más en las características y manifestaciones de las INMI que en explicar por qué ocurren [2], [14].

Además, la terminología no es consistente: los autores no se han puesto de acuerdo en aspectos importantes, como qué debe considerarse exactamente un earworm, a qué se refieren cuando hablan de un episodio y cuál debe ser su duración [2], [16], [17]. Mientras no exista un consenso al respecto, la investigación de este fenómeno será más compleja y avanzará a un ritmo más lento.

Otro reto para investigar este fenómeno tiene que ver con lo subjetiva que es la experiencia: cada individuo tiende a experimentar las INMI de formas distintas y a reportarlas de manera particular, lo que dificulta establecer parámetros más unificados [4].

Conclusión

A pesar de lo común que es este fenómeno, aún no se comprende por completo debido a diversas razones y, para entenderlo, es fundamental considerar tres cuestiones: por qué la música permanece de esta manera, por qué el fenómeno ocurre con tanta frecuencia y por qué tiene una naturaleza repetitiva.

Comprender las INMI puede proporcionarnos pistas importantes acerca de cómo contextualizamos nuestros recuerdos e, incluso, de nuestro concepto de la música, tanto como arte como desde un punto de vista científico. Y, por supuesto, puede ayudarnos a entender por qué no puede dejar de tararear Aserejé mientras termina de leer este artículo.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

Referencias

- [1] V. J. Williamson, S. R. Jilka, J. Fry, S. Finkel, D. Müllensiefen, and L. Stewart, “How do ‘earworms’ start? Classifying the everyday circumstances of involuntary musical imagery,” *Psychology of Music*, vol. 40, no. 3, pp. 259–284, 2012, doi: <https://doi.org/10.1177/0305735611418553>.
- [2] L. A. Liikkanen and K. Jakubowski, “Involuntary musical imagery as a component of ordinary music cognition: A review of empirical evidence,” *Psychonomic Bulletin & Review*, vol. 27, no. 6, pp. 1195–1217, 2020, doi: <https://doi.org/10.3758/s13423-020-01750-7>.
- [3] C. P. Beaman and T. I. Williams, “Earworms (‘stuck song syndrome’): Towards a natural history of intrusive thoughts,” *British Journal of Psychology*, vol. 101, no. 4, pp. 637–653, 2010, doi: <https://doi.org/10.1348/000712609X479636>.
- [4] G. A. Floridou, V. J. Williamson, L. Stewart, and D. Müllensiefen, “The Involuntary Musical Imagery Scale (IMIS),” *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, vol. 25, no. 1, pp. 28–36, 2015, doi: <https://doi.org/10.1037/pmu0000067>.
- [5] J. D. Smith, M. Wilson, and D. Reisberg, “The role of subvocalization in auditory imagery,” *Neuropsychologia*, vol. 33, no. 11, pp. 1433–1454, 1995, doi: [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00074-D](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00074-D).
- [6] I. E. Hyman, N. K. Burland, H. M. Duskin, M. C. Cook, C. M. Roy, J. C. McGrath, and R. F. Roundhill, “Going Gaga: Investigating, creating, and manipulating the song stuck in my head,” *Applied Cognitive Psychology*, vol. 27, no. 2, pp. 204–215, 2013, doi: <https://doi.org/10.1002/acp.2897>.
- [7] C. P. Beaman, K. Powell, and E. Rapley, “Want to block earworms from conscious awareness? B(u)y gum!,” *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 68, no. 6, pp. 1049–1057, 2015, doi: <https://doi.org/10.1080/17470218.2015.1034142>.
- [8] E. H. Margulis, *On Repeat: How Music Plays the Mind*. New York, NY, USA: Oxford University Press, 2014, doi: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199990825.001.0001>.
- [9] K. Jakubowski, S. Finkel, L. Stewart, and D. Müllensiefen, “Dissecting an earworm: Melodic features and song popularity predict involuntary musical imagery,” *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, vol. 11, no. 2, pp. 122–135, 2017, doi: <https://doi.org/10.1037/aca0000090>.
- [10] J. Smallwood and J. W. Schooler, “The science of mind wandering: Empirically navigating the stream of consciousness,” *Annual Review of Psychology*, vol. 66, pp. 487–518, 2015, doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015331>.
- [11] J. Smallwood, “Distinguishing how from why the mind wanders: A process–occurrence framework for self-generated mental activity,” *Psychological Bulletin*, vol. 139, no. 3, pp. 519–535, 2013, doi: <https://doi.org/10.1037/a0030010>.
- [12] T. W. Buchanan and D. Tranel, “Stress and emotional memory retrieval: Effects of sex and cortisol response,” *Neurobiology of Learning and Memory*, vol. 89, no. 2, pp. 134–141, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2007.07.003>.
- [13] D. Müllensiefen, J. Fry, R. Jones, S. Jilka, L. Stewart, and V. J. Williamson, “Individual differences predict patterns in spontaneous involuntary musical imagery,” *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, vol. 31, no. 4, pp. 323–338, 2014, doi: <https://doi.org/10.1525/mp.2014.31.4.323>.
- [14] V. J. Williamson, L. A. Liikkanen, K. Jakubowski, and L. Stewart, “Sticky tunes: How do people react to involuntary musical imagery?,” *PLoS ONE*, vol. 9, no. 1, Art. no. e86170, 2014, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086170>.
- [15] C. Arthur, “Why do songs get ‘stuck in our heads’? Towards a theory for explaining earworms,” *Music & Science*, vol. 6, 2023, doi: <https://doi.org/10.1177/20592043231164581>.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

- [16] T. I. Williams, “The classification of involuntary musical imagery: The case for earworms,” *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, vol. 25, no. 1, pp. 5–13, 2015, doi: <https://doi.org/10.1037/pmu0000082>.
- [17] E. Schubert, “Involuntary, limited, and contiguously repeating musical imagery (INLACREMI): Reconciling theory and data on the musical material acquired by earworms,” *Music & Science*, vol. 6, 2023, doi: <https://doi.org/10.1177/20592043231165661>.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



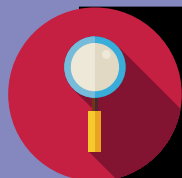
ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 3, julio-septiembre 2026

<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.03.cie.02>
e0403CIE02

CIENCIA VITAL
Revista de Divulgación Científica de la UACJ
ISSN: 2615-9944

¿Es la biotecnología una nueva moda?

José Alberto Núñez-Gastélum¹



¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez <https://orcid.org/0000-0002-7098-4485> jose.nunez@uacj.mx



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

RESUMEN

La biotecnología está más presente en nuestra vida cotidiana de lo que imaginamos. Aunque suele asociarse con avances científicos recientes, el ser humano ha aprovechado procesos biológicos desde hace miles de años para elaborar alimentos como pan, queso, yogur, cerveza y vino. Hoy, el conocimiento científico permite ampliar sus aplicaciones a campos como la salud, la agricultura, la alimentación y el cuidado del medio ambiente. Este artículo explica de manera sencilla qué es la biotecnología, dónde podemos encontrarla y cómo contribuye al desarrollo de medicamentos, vacunas, alimentos y alternativas más sostenibles. También presenta avances como la medicina personalizada, la edición genética, que permite realizar cambios específicos en el ADN, y el aprovechamiento de microorganismos y recursos naturales para generar nuevos materiales y productos. Conocer estas aplicaciones permite comprender por qué la biotecnología, lejos de ser una moda, es una herramienta con un papel cada vez más relevante para afrontar desafíos actuales y contribuir a una mejor calidad de vida.

Introducción

En los últimos años, la palabra “biotecnología” aparece con frecuencia en noticias, productos comerciales y conversaciones relacionadas con la salud, la alimentación y el medio ambiente. Para muchas personas, el término puede sonar moderno o incluso complicado, como si se tratara de una tendencia reciente reservada únicamente para científicos y especialistas. Sin embargo, la biotecnología no es una moda pasajera, sino una disciplina que ha acompañado al ser humano desde hace miles de años.

La biotecnología puede definirse como el uso de organismos vivos, células o componentes biológicos para desarrollar productos y servicios útiles para la sociedad [1]. Aunque el término incluye la palabra “tecnología”, no se refiere únicamente a aparatos o dispositivos electrónicos. En realidad, la biotecnología aprovecha procesos naturales que ocurren en microorganismos, plantas y animales para resolver problemas o mejorar la calidad de vida (Figura 1).



Figura 1. La biotecnología representa la interacción entre los conocimientos de la biología y la tecnología desarrollada por el ser humano. Imagen generada mediante IA con OpenAI ChatGPT/DALL·E, 2026.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

Desde tiempos antiguos, las personas han utilizado microorganismos sin saberlo. La elaboración de pan, queso, yogur, cerveza y vino depende de procesos biológicos conocidos como fermentaciones. Actualmente, gracias al avance científico, estos conocimientos permiten producir medicamentos, vacunas, alimentos más nutritivos y alternativas sostenibles para enfrentar problemas ambientales.

Hoy en día, la biotecnología tiene presencia en numerosos sectores y representa una herramienta clave para responder a desafíos globales como el cambio climático, la seguridad alimentaria y las enfermedades emergentes. Por ello, resulta importante conocer dónde la encontramos y cuáles son las nuevas aplicaciones que están transformando nuestra vida cotidiana.

¿Dónde encontramos la biotecnología?

La biotecnología está mucho más cerca de nosotros de lo que imaginamos. Aunque suele relacionarse con laboratorios modernos, muchas de sus aplicaciones forman parte de actividades cotidianas (Figura 2). Uno de los ejemplos más antiguos es la producción de alimentos fermentados. Las levaduras y bacterias participan en la elaboración de pan, cerveza, vino, queso y yogur. Estos microorganismos transforman azúcares en otras sustancias, generando sabores, aromas y texturas características. Durante siglos, las personas aprovecharon estos procesos de manera empírica, mucho antes de conocer la existencia de los microorganismos.



Figura 2. La biotecnología está presente en lo que comemos, en productos que ayudan a cuidar nuestra salud y en muchos de los objetos que usamos cada día. Imagen generada mediante IA con OpenAI ChatGPT/DALL-E, 2026.

La medicina es otro de los campos donde la biotecnología ha tenido un impacto enorme. El descubrimiento de los antibióticos revolucionó el tratamiento de enfermedades infecciosas y permitió salvar millones de vidas. De igual forma, las vacunas son productos biotecnológicos desarrollados a partir de virus, bacterias o componentes celulares que ayudan al sistema inmunológico a reconocer y combatir enfermedades [2].

Un suceso muy importante ocurrió durante la década de 1980, cuando científicos lograron producir insulina humana mediante bacterias modificadas genéticamente. Antes de este avance, la insulina utilizada por pacientes con diabetes se obtenía principalmente de animales, lo que limitaba su disponibilidad e incrementaba considerablemente su precio. Gracias a la biotecnología, hoy es posible fabricar medicamentos más seguros, accesibles y eficientes.

La agricultura también se beneficia ampliamente de esta disciplina. Existen cultivos desarrollados para resistir plagas, sequías o enfermedades, reduciendo pérdidas y mejorando la producción de alimentos [3]. Además, el uso de microorganismos benéficos en el suelo ayuda a disminuir la necesidad de fertilizantes químicos y favorece prácticas agrícolas más sostenibles.

En el área ambiental, la biotecnología contribuye al tratamiento de aguas residuales, la degradación de contaminantes y la generación de energías renovables. Algunos microorganismos tienen la capacidad de transformar residuos orgánicos en biogás o biocombustibles, ofreciendo alternativas más limpias frente al uso de combustibles fósiles.

Incluso en las industrias textil, cosmética y alimentaria encontramos aplicaciones biotecnológicas. Muchos productos de uso diario contienen enzimas, compuestos naturales o ingredientes obtenidos mediante procesos biológicos controlados.

Los nuevos desarrollos biotecnológicos

El avance científico de las últimas décadas ha impulsado el desarrollo de nuevas aplicaciones biotecnológicas que anteriormente parecían imposibles. Estas innovaciones no solo buscan mejorar productos existentes, sino también responder a problemas globales relacionados con la salud, la alimentación y el medio ambiente (Figura 3). La pandemia de COVID-19 mostró claramente la relevancia de la biotecnología moderna [2]. El rápido desarrollo de vacunas basadas en ARN mensajero (ARNm), una molécula que lleva instrucciones a las células para producir determinadas proteínas, demostró cómo la investigación científica y biotecnológica puede responder de manera acelerada a problemas de salud global.

Uno de los campos más prometedores es la medicina personalizada. Actualmente, el análisis del ADN permite identificar características genéticas de cada persona para diseñar tratamientos más específicos y eficaces. Esta tendencia podría transformar la manera en que se diagnostican y tratan enfermedades como el cáncer. Otra innovación importante es la edición genética, especialmente mediante herramientas como CRISPR, una tecnología que permite modificar de manera precisa regiones específicas del ADN. Esta herramienta biotecnológica ha despertado gran interés por sus posibles aplicaciones en medicina, agricultura y conservación de especies. Aunque todavía existen debates éticos y regulatorios, representa uno de los mayores avances científicos recientes.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

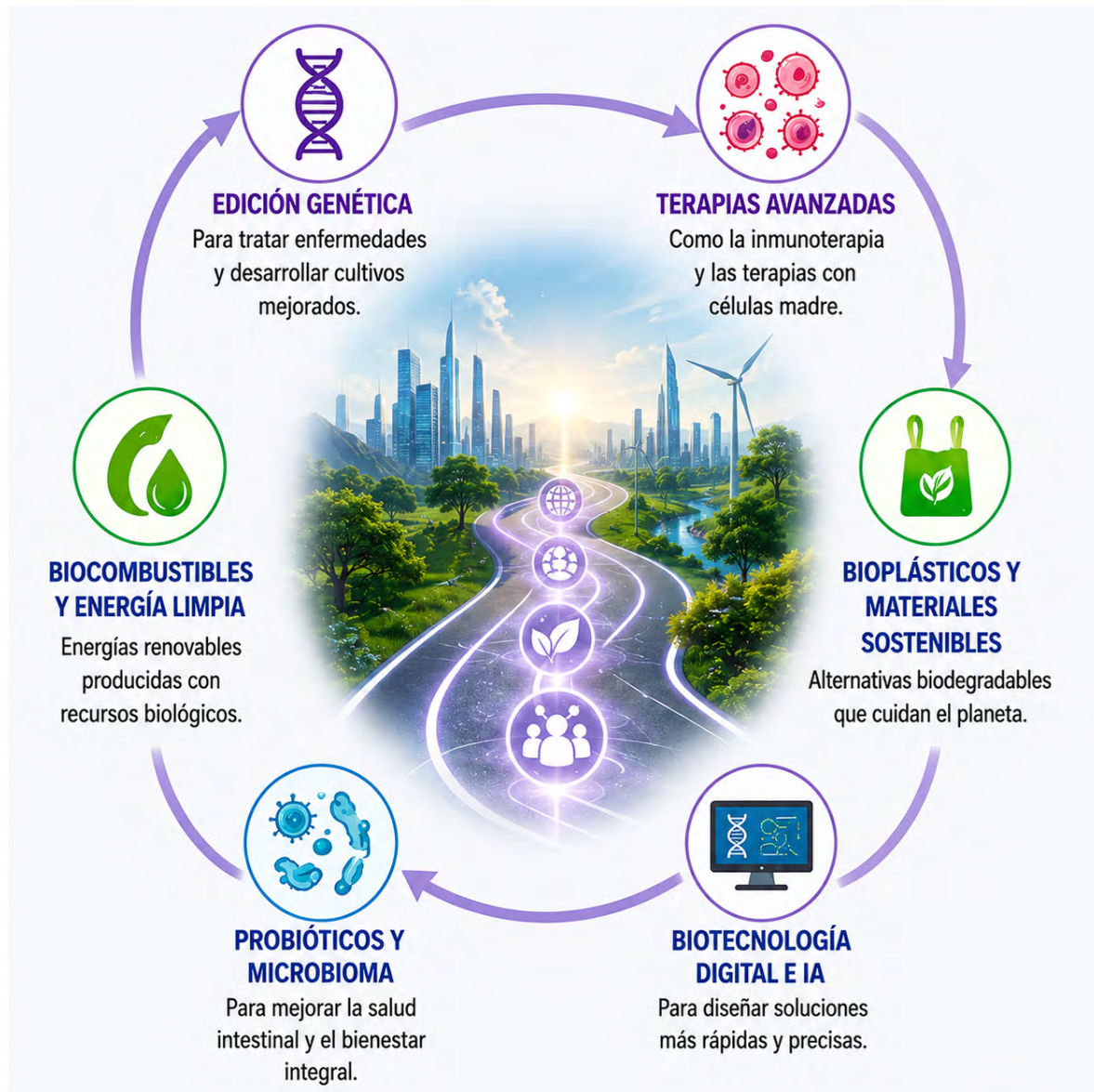


Figura 3. La biotecnología avanza hacia el desarrollo de soluciones que pueden contribuir a una mejor calidad de vida y a un futuro más sostenible. Imagen generada mediante IA con OpenAI ChatGPT/DALL·E, 2026.

La producción de alimentos alternativos también ha cobrado relevancia. Empresas e investigadores trabajan en el desarrollo de carne cultivada en laboratorio y proteínas obtenidas a partir de microorganismos, algas o insectos. Estas alternativas buscan reducir el impacto ambiental asociado a la producción tradicional de alimentos y contribuir a una alimentación más sostenible.

En el área ambiental, la biotecnología moderna impulsa el desarrollo de materiales a partir de nuevas fuentes o recursos naturales. Algunas bacterias tienen la capacidad natural de generar fibras de celulosa extremadamente resistentes y flexibles, las cuales pueden emplearse en la elaboración de materiales biodegradables, apósitos médicos, alimentos y empaques. Gracias a sus propiedades y origen natural, este material representa una alternativa prometedora frente a productos derivados del plástico convencional. Asimismo, la llamada biotecnología verde promueve prácticas agrícolas más amigables con el ambiente mediante el uso de biofertilizantes y biopesticidas. Estos productos aprovechan microorganismos o compuestos naturales para mejorar el crecimiento de las plantas y controlar plagas de manera menos agresiva para los ecosistemas.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

Otra tendencia importante es el aprovechamiento de residuos orgánicos para generar productos de valor agregado. Restos agrícolas y alimentarios pueden transformarse mediante procesos biotecnológicos en biocombustibles, fertilizantes o compuestos útiles para diferentes industrias, favoreciendo modelos de economía circular. Aunque muchos de estos avances aún continúan en desarrollo, es evidente que la biotecnología seguirá formando parte de nuestra vida diaria y tendrá un papel fundamental en las próximas décadas.

Conclusión

La biotecnología no es una tendencia reciente ni un concepto exclusivo de los laboratorios científicos. Desde hace miles de años, el ser humano ha utilizado procesos biológicos para producir alimentos y mejorar su calidad de vida. Sin embargo, los avances científicos modernos han ampliado enormemente sus posibilidades y aplicaciones. Actualmente, la biotecnología está presente en muchas áreas del sector productivo, y las nuevas tendencias biotecnológicas continuarán evolucionando y ofreciendo soluciones innovadoras.

No obstante, su desarrollo también requiere un uso responsable, acompañado de regulación y reflexión ética. Comprender qué es la biotecnología y reconocer su impacto en nuestra vida cotidiana permite valorar la importancia de la ciencia y la investigación en el desarrollo de la humanidad.

Referencias

- [1] M. T. Madigan, K. S. Bender, D. H. Buckley, W. M. Sattley y D. A. Stahl, Brock Biology of Microorganisms, 16.a ed. Pearson, 2021.
- [2] Organización Mundial de la Salud, “Vacunas y biotecnología moderna,” OMS, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/>
- [3] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, “Biotecnología agrícola y sostenibilidad,” FAO, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



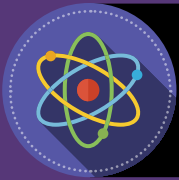
ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO



CIENCIAS APLICADAS

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 3, julio-septiembre 2026
<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.03.apl.01>
e0403APL01

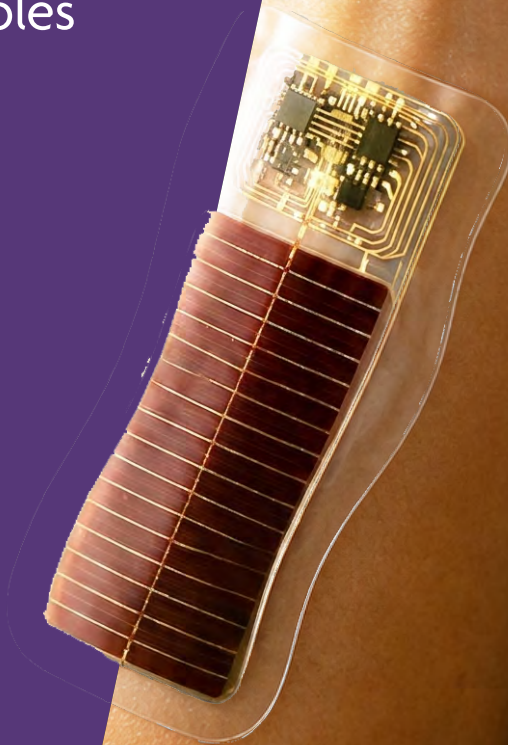
CIENCIA VITAL
Revista de Divulgación Científica de la UACJ
ISSN: 1605-9944

Materiales orgánicos para una electrónica sostenible:

aplicaciones en dispositivos vestibles

José Antonio Ávila Niño¹

¹ Centro de Tecnología Avanzada
<https://orcid.org/0000-0002-8451-8354>. avilanino84@gmail.com



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

RESUMEN

La creciente demanda tecnológica ha impulsado la búsqueda de materiales más sostenibles que puedan complementar o sustituir al silicio y otros materiales utilizados en la electrónica convencional. Entre las alternativas más prometedoras se encuentran los polímeros semiconductores, materiales orgánicos capaces de conducir electricidad bajo determinadas condiciones y que pueden procesarse mediante técnicas de impresión con menor consumo de energía. Su flexibilidad permite fabricar dispositivos ligeros y adaptables a superficies como ropa o piel, abriendo nuevas posibilidades para la electrónica vestible (*wearable*). En este artículo se explican las principales características y ventajas de estos materiales, así como sus aplicaciones en pantallas OLED, celdas solares, transistores y sensores. Destaca su potencial para desarrollar dispositivos capaces de monitorear en tiempo real variables relacionadas con la salud, como los niveles de electrolitos o glucosa. Aunque todavía existen retos tecnológicos, los materiales orgánicos representan una alternativa prometedora para avanzar hacia una electrónica más flexible, accesible y sostenible.

Introducción

Vivimos en una paradoja: por un lado, estamos rodeados de tecnología, como teléfonos inteligentes y vehículos eléctricos; por otro, utilizamos elementos electrónicos que no son considerados “verdes”, es decir, cuyo proceso de fabricación es muy costoso, requiere condiciones muy específicas y, además, genera residuos que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente.

La electrónica que conocemos tiene su base en el silicio, el cual se encuentra principalmente en forma de sílice y silicatos en piedras y rocas. Para fabricar las obleas electrónicas, que son láminas delgadas de material semiconductor sobre las que se construyen los circuitos electrónicos, se requiere infraestructura muy avanzada, altas temperaturas y grandes cantidades de energía eléctrica.

Por estos motivos, muchos grupos de investigación están buscando alternativas al silicio tradicional para fabricar componentes electrónicos. Entre ellas se encuentran los llamados materiales orgánicos, denominados así porque uno de sus principales elementos es el carbono, el segundo elemento más abundante en los seres vivos después del oxígeno y el componente estructural más importante de las moléculas orgánicas. Por el contrario, elementos como el silicio o el germanio, de amplio uso en la electrónica convencional, son considerados materiales inorgánicos.

Para ello, se han sintetizado en el laboratorio materiales denominados polímeros, que son moléculas muy grandes compuestas por unidades químicas repetitivas llamadas monómeros. Existen polímeros naturales, como el caucho, las proteínas o el ADN, pero también sintéticos, es decir, fabricados con fines específicos, como el nailon, el PET y el poliéster, que ya forman parte de nuestra vida cotidiana.

Los polímeros sintéticos conducen electricidad

Se ha comprobado que algunos polímeros sintéticos pueden conducir electricidad cuando presentan en su estructura química una propiedad llamada conjugación π , que consiste en la presencia alternada de enlaces simples y dobles entre átomos de carbono, y son dopados correctamente. Este dopaje consiste en agregar o remover electrones mediante reacciones químicas, por lo que estos polímeros quedan “cargados”. Cuando esas cargas reciben el estímulo de un voltaje externo, pueden desplazarse a través de las cadenas del polímero y generar una corriente eléctrica.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

Una de sus ventajas ambientales más importantes es que pueden depositarse mediante técnicas aditivas, en las cuales solo se utiliza el material necesario para formar el dispositivo. Esto contrasta con técnicas sustractivas como la litografía, ampliamente utilizada en la fabricación de dispositivos electrónicos inorgánicos, que emplea procesos para formar y retirar selectivamente capas de material y puede generar residuos potencialmente perjudiciales para el medio ambiente.

Otra de las ventajas de los materiales orgánicos, y tal vez la principal, es que pueden depositarse mediante técnicas de impresión que trabajan a temperaturas relativamente bajas y consumen menos energía eléctrica, lo que puede reducir los costos de los procesos de fabricación. Además, estos materiales pueden ser flexibles y depositarse sobre una gran variedad de sustratos o superficies, como papel, plástico e incluso textiles o piel. Esto abre posibilidades para el desarrollo de nuevos dispositivos denominados *wearables* o dispositivos vestibles.

Estos dispositivos electrónicos pueden ser portados por las personas sin limitar significativamente su movilidad, gracias a la flexibilidad de los materiales orgánicos. Entre ellos se encuentran relojes, pulseras, prendas e incluso parches para la piel que podrían utilizarse, por ejemplo, para monitorear signos vitales en tiempo real, detectar desequilibrios de electrolitos o medir cambios en los niveles de glucosa, entre muchas otras aplicaciones difíciles de desarrollar con dispositivos electrónicos rígidos.

Dentro de los polímeros fabricados en laboratorio también se han sintetizado polímeros semiconductores, es decir, materiales cuya conductividad eléctrica puede modificarse mediante diferentes estímulos y que presentan algunas propiedades similares a las de los semiconductores convencionales, como el silicio (Figura 1).



Figura 1. Ejemplo de un dispositivo vestible basado en materiales orgánicos: un sensor de iones con polímero conductor integrado con una celda solar orgánica para su alimentación.

Los materiales semiconductores constituyen la base de la electrónica, por lo que actualmente se trabaja en diferentes partes del mundo para fabricar componentes electrónicos mediante materiales orgánicos, entre ellos los polímeros sintéticos.

Aplicaciones de estos polímeros sintéticos

Entre los dispositivos electrónicos que utilizan materiales orgánicos se encuentran las pantallas OLED (*organic light-emitting diode* o diodo orgánico emisor de luz) [1]. Esta tecnología ya se comercializa ampliamente y ofrece ventajas como la posibilidad de fabricar pantallas ligeras,



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

delgadas y flexibles. Además, los materiales orgánicos permiten desarrollar pantallas curvas e integrarlas en superficies no rígidas.

También se han fabricado celdas solares orgánicas para captar energía solar, transistores y, particularmente, sensores que, al ser flexibles, pueden interactuar directamente con fluidos corporales. Estos dispositivos podrían utilizarse para monitorear diferentes indicadores relacionados con la salud y contribuir a la detección temprana de algunas alteraciones.

Uno de los desarrollos recientes son los llamados transistores electroquímicos orgánicos [2], dispositivos que utilizan polímeros semiconductores y pueden funcionar como una interfaz entre los componentes iónicos —como el sodio, el potasio o el calcio presentes en los fluidos corporales— y las propiedades electrónicas del polímero semiconductor. Estos transistores están siendo estudiados como sensores iónicos para detectar desequilibrios de electrolitos en el sudor o la sangre y representan una tecnología prometedora para el monitoreo de la salud en tiempo real.

Además, al integrar enzimas o materiales catalíticos, estos dispositivos pueden utilizarse para detectar biomoléculas y otros compuestos, como glucosa, ácido láctico u organofosfatos [3]–[5]. La glucosa es una molécula fundamental para el metabolismo y sus niveles en la sangre son especialmente importantes para el diagnóstico y control de la diabetes. Por su parte, el ácido láctico o lactato puede utilizarse como indicador del esfuerzo físico, la fatiga muscular y determinados procesos metabólicos [4]. Finalmente, la detección de organofosfatos, compuestos utilizados en diversos plaguicidas, puede ayudar a identificar residuos de estas sustancias en alimentos o agua [3].

A pesar de toda la investigación realizada, aún queda mucho por hacer, ya que estos materiales orgánicos presentan limitaciones frente a materiales inorgánicos como el silicio. Una de ellas es que muchos polímeros semiconductores presentan regiones con menor orden estructural, lo que puede dificultar el movimiento de las cargas eléctricas y reducir su desempeño. En comparación, los semiconductores inorgánicos cristalinos poseen estructuras atómicas altamente ordenadas que favorecen el transporte de las cargas. Por ello, aplicaciones que requieren operar a frecuencias muy altas, como los microprocesadores de alto desempeño, siguen representando un desafío para la electrónica orgánica.

Conclusiones

Los avances en materiales orgánicos y polímeros semiconductores descritos en este artículo han consolidado una novedosa línea de investigación para la fabricación de componentes electrónicos y representan una alternativa a los sistemas tradicionales basados en silicio y otros materiales inorgánicos rígidos. Su procesamiento a temperaturas relativamente bajas, la posibilidad de utilizar técnicas de impresión, su flexibilidad y, en algunos casos, su biocompatibilidad permiten desarrollar nuevos tipos de dispositivos y explorar procesos de fabricación con menor consumo de recursos.

En el futuro, el reto será ampliar la fabricación de estos materiales a escala industrial, mejorar su estabilidad y promover estrategias adecuadas de reciclaje y manejo de residuos electrónicos, para que una electrónica más sostenible deje de ser una excepción y pueda convertirse en una alternativa cada vez más viable para la industria tecnológica.

Referencias

- [1] G. Hong, X. Gan, C. Leonhardt, Z. Zhang, J. Seibert, J. M. Busch y S. Bräse, “A brief history of OLEDs—Emitter development and industry milestones,” *Advanced Materials*, vol. 33, no. 9, art. no. 2005630, 2021, doi: <https://doi.org/10.1002/adma.202005630>.
- [2] J. A. Avila-Niño, E. Araujo y F. Gonzalez, “Study of the doping of PEDOT:PSS films and the reversibility in organic electrochemical transistors,” *Synthetic Metals*, vol. 299, art. no.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

117465, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2023.117465>.

[3] B. M. Hryniewicz, E. S. Orth y M. Vidotti, “Enzymeless PEDOT-based electrochemical sensor for the detection of nitrophenols and organophosphates,” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 257, pp. 570–578, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.10.162>.

[4] I. Gualandi, M. Tessarolo, F. Mariani, D. Arcangeli, L. Possanzini, D. Tonelli *et al.*, “Layered double hydroxide-modified organic electrochemical transistor for glucose and lactate biosensing,” *Sensors*, vol. 20, no. 12, art. no. 3453, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/s20123453>.

[5] K. Meng, J. Zhu, T. Zhang, X. Zhang, Y. Zhang, X. Chen *et al.*, “Nanostructure-gated organic electrochemical transistors for accurate glucose monitoring in dynamic biological pH conditions,” *Biosensors and Bioelectronics*, art. no. 117677, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2025.117677>.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



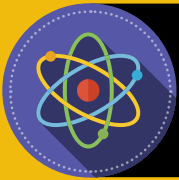
ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO



CIENCIAS APLICADAS

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 3, julio-septiembre 2026
<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.03.apl.02>
e0403APL02



La nueva era de la movilidad autónoma:

ingeniería mecánica y
diseño industrial

Luis Arturo Meléndez Valdez¹



¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
al251477@alumnos.uacj.mx.
<https://orcid.org/0009-0008-6429-5369>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

RESUMEN

Los robots de entrega ya no son una idea futurista: circulan entre peatones, esquivan baches y transportan pedidos en silencio. Detrás de esa aparente simplicidad se esconde una compleja unión entre la ingeniería mecánica y el diseño estético. Este texto explica cómo la suspensión, tradicionalmente vista como un componente técnico, se convierte en un puente entre funcionalidad y estética.

Introducción

La pandemia de COVID-19 incrementó significativamente la demanda de transporte urbano de mercancías, impulsada por el crecimiento del comercio electrónico y las compras en línea, lo que derivó en envíos más frecuentes y de menor tamaño en las zonas urbanas [1]–[3].

Actualmente, estos sistemas ya se utilizan en diversas ciudades, donde robots autónomos realizan entregas sin supervisión humana directa (Figura 1). Los confinamientos y las restricciones de movilidad reforzaron la preferencia por entregas rápidas y sin contacto, intensificando los desafíos de la logística de última milla y afectando las redes de transporte urbano [4].

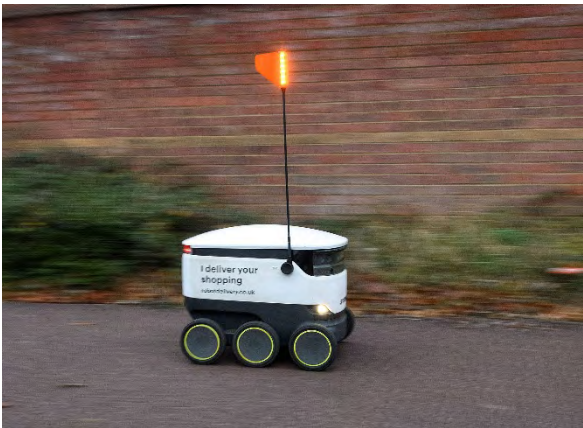


Figura 1. Robot autónomo de entrega urbana de la empresa Starship Technologies, utilizado en entornos reales para distribución de última milla. Fuente: Starship Technologies, “Autonomous Delivery Robots”. Disponible en: <https://www.starship.xyz/our-robots/>. Consultado: 10 de noviembre de 2025.

En este contexto, el mercado de la entrega exprés ha crecido de forma acelerada. Las ventas globales en línea alcanzaron 5.311 billones de dólares en 2022 y se proyecta que superen los 8 billones para 2027, lo que incrementa la presión sobre los sistemas de distribución [5]. Estos factores (Figura 2) han sido analizados mediante distintos enfoques, destacando la influencia combinada de aspectos políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales [3].

Este artículo tiene como objetivo explicar cómo la suspensión de los robots autónomos de reparto funciona como un elemento clave que integra la ingeniería mecánica con el diseño industrial, permitiendo mejorar su desempeño en entornos urbanos y su aceptación por parte de los usuarios.

Desafío urbano: estabilidad y navegación

Los robots autónomos deben adaptarse a múltiples tipos de terreno en entornos urbanos. Por lo regular, los robots con ruedas funcionan bastante bien en superficies lisas y ofrecen estabilidad; el desafío aparece en terrenos irregulares. Los robots con patas, en cambio, pueden desplazarse por distintos tipos de terreno e irregularidades ajustando su postura, marcha y

puntos de apoyo para mantener el equilibrio y la estabilidad (Figura 3). Sin embargo, este tipo de diseños conlleva una mayor complejidad [6], [7].

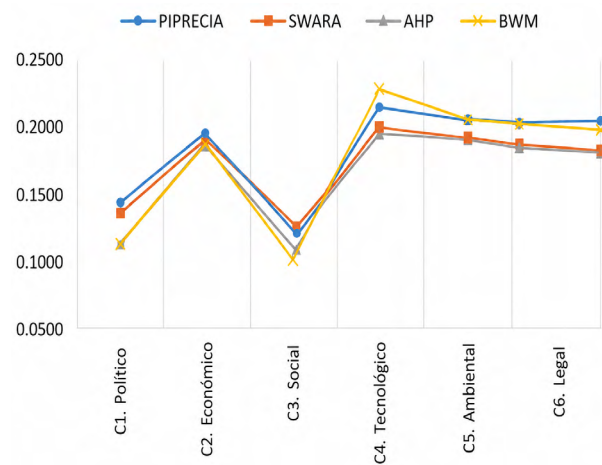


Figura 2. Comparación de los principales desafíos que afectan la implementación de robots autónomos de reparto según distintos métodos de evaluación: PIPRECIA, SWARA, AHP y BWM. Fuente: Adaptado de [3].



Figura 3. Representación esquemática de un robot hexápodo y su planeación de movimiento para superar obstáculos en terrenos irregulares. Fuente: Adaptado de [6].

La aparición de robots de entrega y vehículos autónomos está transformando la logística y exige soluciones cada vez más innovadoras en el diseño de suspensiones. Estos vehículos, que operan a la intemperie, deben enfrentarse a terrenos irregulares y obstáculos urbanos, además de proteger componentes electrónicos y mecánicos sensibles [8].

Una vez comprendidos los desafíos técnicos del entorno urbano, es necesario analizar cómo estos sistemas integran aspectos mecánicos y estéticos.

Integración del diseño mecánico y estético

El desarrollo de vehículos que no solo sean funcionales y eficientes, sino también atractivos y adaptados a las expectativas de los usuarios, requiere combinar conocimientos de ingeniería mecánica con principios de diseño industrial y estética [9]. Por ejemplo, se han comenzado a aplicar métodos inspirados en la neurociencia para cuantificar y mejorar características físicas relacionadas con la estética en el diseño de vehículos, complementando las limitaciones de los enfoques tradicionales [9]. Este tipo de aproximación puede entenderse mediante el marco de diseño propuesto en [27], donde las fases de análisis funcional, creación de escenarios y validación se integran en un proceso socialmente consciente (Figura 4).



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

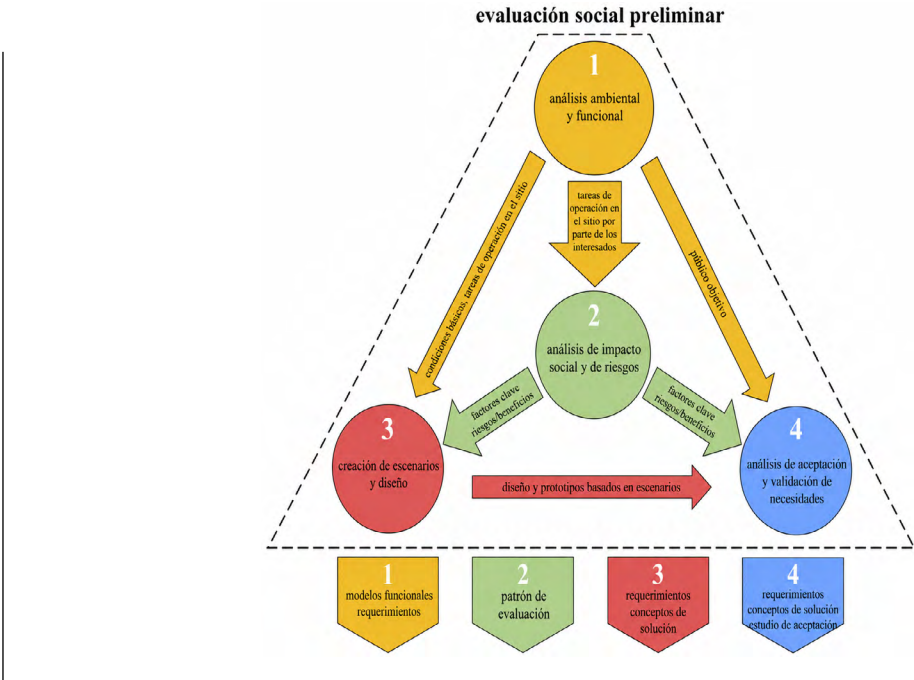


Figura 4. Marco de diseño que integra aspectos funcionales, sociales y estéticos en el desarrollo de robots de servicio urbano. Fuente: adaptado de [27].

La pregunta central que surge es: ¿cómo se combinan la precisión de la ingeniería mecánica con la creatividad del diseño industrial para crear una suspensión modular adaptable? Esta cuestión es fundamental, ya que la suspensión debe ser capaz de soportar y distribuir el peso del vehículo, superar obstáculos, mantener el contacto con el suelo y proteger los componentes internos, todo ello sin sacrificar la estética ni la experiencia del usuario [8], [9].

Diseño mecánico para modularidad y estabilidad

La modularidad en robótica, es decir, la capacidad de construir sistemas a partir de módulos intercambiables (Figura 5), permite que los componentes puedan ser intercambiados, reconfigurados y reemplazados fácilmente, lo que facilita el mantenimiento, la escalabilidad y la adaptación del robot a diferentes tareas y entornos [10]–[14]. Esta característica permite reducir la complejidad del diseño, disminuir el esfuerzo de desarrollo y reutilizar módulos en distintos sistemas o aplicaciones [11], [13].

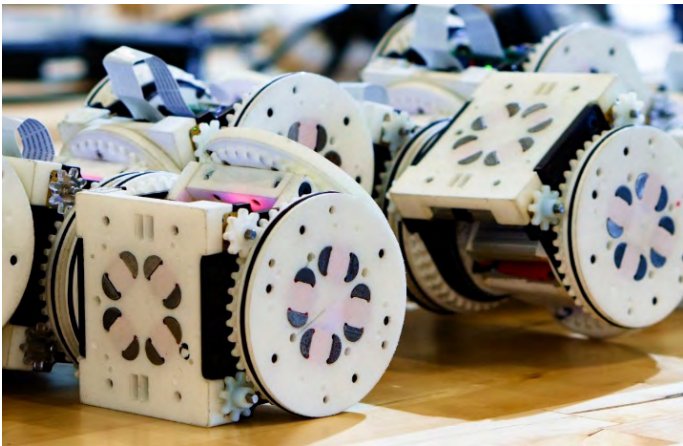


Figura 5. Ejemplo de robot modular tipo “bloques”, capaz de cambiar su estructura y adaptarse a distintas superficies. Fuente: ModLab, University of Pennsylvania, “SMORES Modular Robot System,” 2016.

Entre las principales ventajas de la modularidad se encuentran:

- » Los módulos pueden reemplazarse o repararse fácilmente en campo, lo que reduce el tiempo de inactividad [11], [15].
- » El uso de menos componentes diferentes simplifica el mantenimiento y puede disminuir sus costos [11].
- » Es posible aumentar el número de módulos para ampliar capacidades, como los grados de libertad —es decir, la cantidad de movimientos independientes que puede realizar un sistema— o la longitud del vehículo, adaptándolo a distintas necesidades [11], [16].
- » El robot puede cambiar su configuración para realizar diferentes tareas o desplazarse en distintos entornos [10], [12], [14].

Los sistemas modulares también enfrentan varios retos físicos que deben abordarse para garantizar un funcionamiento eficiente:

- » La estabilidad del robot puede verse comprometida por la inclinación y las vibraciones generadas al enfrentar obstáculos. Un diseño modular con suspensión independiente permite que cada rueda responda de manera autónoma, reduciendo la inclinación y las vibraciones de la estructura [17], [18].
- » Las vibraciones, entendidas como movimientos oscilatorios no deseados del sistema, son un problema común. La suspensión ayuda a absorberlas, mejorando el desempeño del robot [17], [18].
- » El uso de materiales ligeros y resistentes, como el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y la silicona en las ruedas, ayuda a reducir el peso total del robot sin sacrificar durabilidad ni estabilidad [19], [20].
- » Sistemas como el rocker-bogie, un tipo de suspensión utilizado en vehículos como los exploradores o rovers de Marte y diseñado para mantener las ruedas en contacto con el suelo, así como otras suspensiones pasivas, ayudan a distribuir la carga y minimizar el consumo de energía al reducir la necesidad de realizar ajustes constantes en la velocidad de los motores [21].
- » La combinación de modularidad y suspensión puede permitir que el robot continúe operando incluso si algunos módulos presentan fallas [15].

Además del desempeño técnico, el diseño estético influye directamente en la percepción y aceptación del robot.

Diseño estético y experiencia del usuario

La apariencia física de estos sistemas, incluida su uniformidad visual, es importante para comunicar la propuesta de valor de una organización y mejorar la experiencia del usuario [22].

Asimismo, combinar formas geométricas simples con algunos rasgos humanoides puede crear un equilibrio entre una apariencia mecánica y otra más cercana a las personas [23].

El diseño estético también debe mantener un enfoque minimalista y funcional que contribuya a reducir costos y facilite el uso del sistema [24].

Equilibrio entre estética y funcionalidad mecánica

Un ejemplo de integración entre forma y función puede observarse en el robot Paquitop [25], cuyo diseño modular y sistema de suspensión articulada logran una apariencia equilibrada entre los aspectos técnicos y estéticos (Figura 6).



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

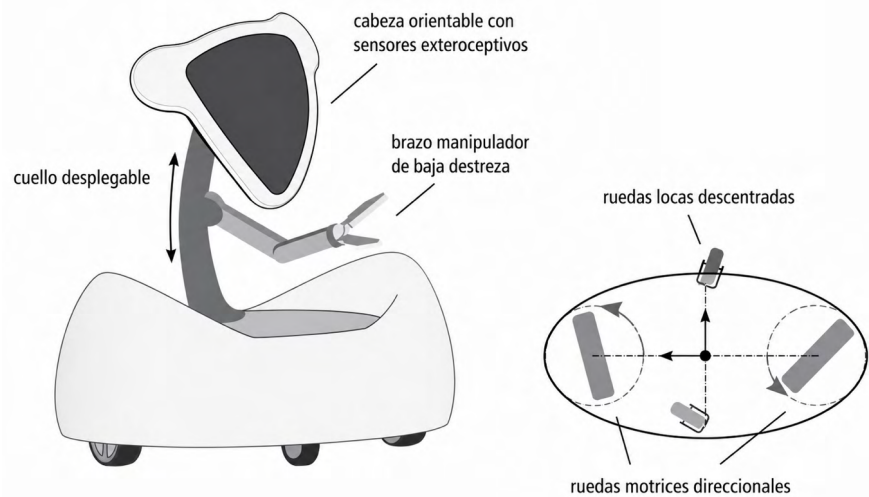


Figura 6. Diseño conceptual del robot Paquitop con estructura modular y suspensión de cuatro ruedas, que muestra su adaptabilidad a diferentes tareas. Fuente: adaptado de [25].

Las decisiones estéticas en el diseño de robots no son independientes de su funcionamiento: en algunos casos pueden modificar la manera en que la máquina responde dinámicamente, vibra o se equilibra. Un color puede alterar la percepción del peso y una textura puede sugerir velocidad o solidez. Sin embargo, no todas las elecciones visuales afectan la mecánica; algunos detalles, como una superficie, un tono o una curva, pueden incorporarse sin modificar los elementos esenciales del sistema [26].

Enfocarse solo en la apariencia puede ser tentador, sobre todo porque lo visual suele ser lo primero que atrae la atención. Sin embargo, si la estética domina sobre los aspectos funcionales, el desempeño mecánico puede verse comprometido. El equilibrio entre ambos enfoques es lo que da sentido al diseño: el resultado no solo cumple su función, sino que también mejora la experiencia del usuario [26].

Diseñar la suspensión de un robot de servicio no es un proceso lineal. Implica pruebas, correcciones y nuevas ideas que surgen cuando una pieza no encaja o una forma interfiere con un sensor. Las fases iniciales —definir el problema, imaginar soluciones y evaluar cómo la estructura soporta la función— no siempre ocurren de manera ordenada: pueden mezclarse y repetirse a lo largo del proceso [27].

La forma, en última instancia, se juzga no solo por su apariencia, sino también por su capacidad para moverse, adaptarse y resistir. En ocasiones, las características de los materiales condicionan las decisiones del diseñador; en otras, las necesidades de movilidad imponen su propia estética. Cada cambio de forma responde a una pregunta práctica: ¿puede funcionar mejor sin dejar de verse coherente? [28].

Con base en la información recopilada, estos elementos pueden sintetizarse de la siguiente manera (Tabla 1):

Aspecto de diseño	Principio mecánico	Principio estético	Ejemplo de integración
Selección de material	Garantiza movilidad y ejecución de tareas	Puede afectar la apariencia y la percepción al tacto	Evitar superficies pegajosas o excesivamente ásperas
Diseño exterior	Formas geométricas orientadas a la función	Rasgos humanoides para favorecer la aceptación del usuario	Bocetos de diseño híbrido
Interfaz de usuario	Arquitectura simple y escalable	Apariencia minimalista y atractiva	Robots domésticos tipo <i>Roomba</i>

Tabla 1. Integración de principios mecánicos y estéticos en el diseño de robots.
Fuente: elaboración propia.

Aceptación del usuario y calidad de la interacción

La aceptación de los robots autónomos de reparto está influida tanto por aspectos técnicos, como la capacidad de navegación, la interfaz de usuario y la adaptabilidad, como por características estéticas, entre ellas los rasgos humanoides. Los problemas técnicos y una complejidad excesiva pueden provocar rechazo, mientras que un enfoque práctico y centrado en las personas favorece su aceptación [29].

La autonomía de los robots de reparto puede mejorar la eficiencia de las entregas y la experiencia del usuario. A su vez, una interacción sencilla y adecuada con estas tecnologías puede contribuir a generar una mayor confianza y favorecer su adopción [30], [31].

La inteligencia artificial (IA) puede generar formas, optimizar movimientos y predecir trayectorias. Sin embargo, la valoración de aquello que hace que un objeto resulte agradable, coherente o adecuado para las personas continúa dependiendo en buena medida del criterio humano. La experiencia humana da sentido al proceso al vincular la utilidad con la percepción y la emoción [26], [28], [29].

Limitaciones y retos actuales

A pesar de los avances en el desarrollo de robots autónomos de reparto, aún existen limitaciones importantes. Entre ellas se encuentran el desempeño en condiciones climáticas adversas, la dificultad para navegar en entornos urbanos altamente dinámicos y los desafíos relacionados con la aceptación social y la regulación de estas tecnologías. Estos aspectos representan áreas clave para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos.

Además, la durabilidad de los componentes, el mantenimiento en campo y los costos de implementación representan retos importantes para su adopción a gran escala.

Conclusión

La integración de la ingeniería mecánica y el diseño industrial es un elemento clave en el desarrollo de robots autónomos de reparto y vehículos destinados a la logística de última milla. A lo largo de este trabajo se analizó el papel de la suspensión como un componente fundamental para garantizar la estabilidad, la adaptabilidad y la protección de los sistemas en entornos urbanos.

Se identificó que el diseño mecánico define el desempeño funcional del robot, particularmente su capacidad de desplazamiento, absorción de vibraciones y contacto con el terreno. Por

su parte, el diseño industrial complementa estos aspectos al influir en la percepción del usuario, la facilidad de uso y la aceptación del sistema.

En este sentido, una integración adecuada entre funcionalidad y diseño permite desarrollar soluciones más eficientes, confiables y alineadas con las necesidades reales del entorno urbano. El desarrollo futuro de estos sistemas dependerá de la capacidad de equilibrar ambos enfoques para lograr un desempeño óptimo y una mejor experiencia del usuario.

Referencias

[1] Ş. İmre, D. Çelebi y F. Koca, “Understanding barriers and enablers of electric vehicles in urban freight transport: Addressing stakeholder needs in Turkey,” *Sustainable Cities and Society*, vol. 68, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102794>.

[2] Y. Su, H. Ghaderi y H. Dia, “The role of traffic simulation in shaping effective and sustainable innovative urban delivery interventions,” *EURO Journal on Transportation and Logistics*, vol. 13, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejtl.2024.100130>.

[3] E. Ayyildiz y M. Erdogan, “Addressing the challenges of using autonomous robots for last-mile delivery,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 190, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110096>.

[4] J. El Ouadi, N. Malhene, S. Benhadou y H. Medromi, “Shared public transport within a physical internet framework: Reviews, conceptualization and expected challenges under COVID-19 pandemic,” *IATSS Research*, vol. 45, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2021.03.001>.

[5] L. Jiang, J. Yan, Y. Xie y J. Dong, “Customers’ reuse intention to autonomous delivery vehicles in terminal delivery service: A valence theory perspective,” *Journal of Retailing and Consumer Services*, vol. 82, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2024.104150>.

[6] C. Chen, J. Lin, B. You, J. Li y B. Gao, “Hexapod robot motion planning investigation under the influence of multi-dimensional terrain features,” *Frontiers in Neurorobotics*, vol. 19, 2025, doi: <https://doi.org/10.3389/fnbot.2025.1605938>.

[7] M. H. Korayem y H. R. Adriani, “Pursuing a target by wheel-legged mobile robot using NMPC while optimizing obstacles passing,” *ISA Transactions*, vol. 158, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2024.12.035>.

[8] U. S. P. Srinivas Aditya, R. Singh, P. K. Singh y A. Kalla, “A Survey on Blockchain in Robotics: Issues, Opportunities, Challenges and Future Directions,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 196, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103245>.

[9] M. Watanabe, N. Michida, A. Kishi y K. Nishikawa, “Global structures of automotive interiors revealed by algorithms of the visual brain,” *Design Studies*, vol. 62, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2018.10.004>.

[10] P. Wang, X. Liu y A. Song, “Actuation and Locomotion of Miniature Underwater Robots: A Survey,” *Engineering*, vol. 51, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2024.10.022>.

[11] R. M. Grassmann, C. Shentu, T. Hamoda, P. T. Dewi y J. Burgner-Kahrs, “Open continuum robotics—one actuation module to create them all,” *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 11, 2024, doi: <https://doi.org/10.3389/frobt.2024.1272403>.

[12] S. Cicerone, G. Di Stefano y A. Navarra, “A structured methodology for designing distributed algorithms for mobile entities,” *Information Sciences*, vol. 574, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.05.043>.

[13] A. Martin y M. R. Emami, “A fault-tolerant approach to robot teams,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 61, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2013.07.015>.

[14] S. Hauser, M. Mutlu, P.-A. Léziart, H. Khodr, A. Bernardino y A. J. Ijspeert, “Roombots extended: Challenges in the next generation of self-reconfigurable modular robots



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

- and their application in adaptive and assistive furniture,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 127, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2020.103467>.
- [15] T. Cordie, J. Roberts, M. Dunbabin, R. Dungavell y T. Bandyopadhyay, “Enabling robustness to failure with modular field robots,” *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 11, 2024, doi: <https://doi.org/10.3389/frobt.2024.1225297>.
- [16] J. Lin y F. Zhang, “Modular vehicle-based transit system for passenger and freight co-modal transportation,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 160, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104545>.
- [17] Q. Fu y C. Li, “Robotic modelling of snake traversing large, smooth obstacles reveals stability benefits of body compliance,” *Royal Society Open Science*, vol. 7, 2020, doi: <https://doi.org/10.1098/rsos.191192>.
- [18] F. Xu, S. Dai, Q. Jiang y X. Wang, “Developing a climbing robot for repairing cables of cable-stayed bridges,” *Automation in Construction*, vol. 129, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103807>.
- [19] M. L. Hakim, Herianto y M. A. Muflikhun, “Next-gen strain sensors: Self-healing, ultra-sensitive, lightweight, and durable MWCNT-silicone rubber for advanced human motion tracking,” *Journal of Engineering Research*, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.10.009>.
- [20] A. Soleimani, “The soft computing approaches in optimising multi-objective mechanical design of a weeding robot,” *Smart Agricultural Technology*, vol. 9, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100674>.
- [21] A. Soleimani, “The soft computing approaches in optimising multi-objective mechanical design of a weeding robot,” *Smart Agricultural Technology*, vol. 9, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100674>.
- [22] C. Liu y L. Xie, “Formal versus casual: How do customers respond to service robots’ uniforms? The roles of service type and language style,” *International Journal of Hospitality Management*, vol. 114, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2023.103566>.
- [23] L.-Y. Qin, J. Z. Wen, C.-S. Chui y K.-S. Leung, “Housing design and testing of a surgical robot developed for orthopaedic surgery,” *Journal of Orthopaedic Translation*, vol. 5, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jot.2016.02.002>.
- [24] R. Mateo Ferrús y M. Domínguez Somonte, “Design in robotics based in the voice of the customer of household robots,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 79, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2016.01.010>.
- [25] L. Tagliavini, A. Botta, P. Cavallone, L. Carbonari y G. Quaglia, “On the Suspension Design of Paquitop, a Novel Service Robot for Home Assistance Applications,” *Machines*, vol. 9, no. 3, p. 52, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/machines9030052>.
- [26] M. B. Christiansen, A. Rafsanjani y J. Jørgensen, “Nature redux: interrogating biomorphism and soft robot aesthetics through generative AI,” *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 11, 2024, doi: <https://doi.org/10.3389/frobt.2024.1472051>.
- [27] M. J. van der Schoor y D. Göhlich, “Integrating sustainability in the design process of urban service robots,” *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 10, 2023, doi: <https://doi.org/10.3389/frobt.2023.1250697>.
- [28] R. Farkh, H. Marouani, K. Al Jaloud, S. Alhuwaimel, M. T. Quasim y Y. Fouad, “Intelligent Autonomous-Robot Control for Medical Applications,” *Computers, Materials and Continua*, vol. 68, 2021, doi: <https://doi.org/10.32604/cmc.2021.015906>.
- [29] C. Ohneberg et al., “Assistive robotic systems in nursing care: a scoping review,” *BMC Nursing*, vol. 22, 2023, doi: <https://doi.org/10.1186/s12912-023-01230-y>.
- [30] S. Xu, X. Zhang, R. Kim y M. Su, “Anthropomorphic last-mile robots and consumer intention: An empirical test under a theoretical framework,” *Journal of Retailing and Consumer Services*, vol. 81, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2024.104028>.
- [31] L. Y. Koh y K. F. Yuen, “Individual-, task-, and technology-fit perspective of autonomous delivery robots confirmation and adoption in smart cities,” *International Journal of Hospitality Management*, vol. 128, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2025.104182>.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



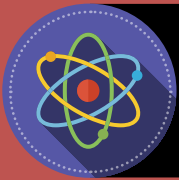
ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO



CIENCIAS APLICADAS

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 3, julio-septiembre 2026
<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.03.apl.03>
e0403APL03

Préstamos relámpago: la ingeniería

financiera detrás del arbitraje cripto

César Cañez Sánchez¹

Víctor Morales Rocha²



¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
al234525@alumnos.uacj.mx

² Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0000-0001-8213-400X>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

RESUMEN

El arbitraje de criptomonedas consiste en aprovechar las diferencias de precio de un mismo activo digital entre distintas plataformas. En las finanzas descentralizadas (DeFi), este proceso puede realizarse mediante préstamos relámpago (flash loans), que permiten solicitar y devolver criptomonedas dentro de una sola transacción, sin las garantías tradicionales de un préstamo bancario. Este artículo explica de manera accesible las tecnologías que hacen posible este mecanismo, como la cadena de bloques (blockchain) y los contratos inteligentes, programas que ejecutan automáticamente una operación cuando se cumplen ciertas condiciones. También presenta un sistema automatizado capaz de identificar oportunidades de arbitraje y realizar operaciones mediante préstamos relámpago. A partir de pruebas reales en la red Ethereum, se analizan sus posibilidades, riesgos y retos regulatorios, así como su posible aplicación en el contexto financiero mexicano. Estos mecanismos muestran cómo la automatización y las nuevas tecnologías digitales pueden transformar algunas operaciones financieras y plantear nuevas oportunidades y desafíos para instituciones, reguladores y usuarios.

Introducción

Imagine que una casa de cambio vende dólares a 16.5 pesos y justo cruzando la calle hay otra en la que compran dólares a 17.5 pesos. Si alguien los compra en la primera y los vende en la segunda al instante, gana 1 peso por cada dólar. Esa idea sencilla, llamada arbitraje, existe desde hace mucho tiempo en los mercados financieros.

Lo nuevo es lo que ocurre cuando esa misma idea se traslada al mundo de las criptomonedas. En este mercado, los precios cambian en milisegundos, las plataformas operan las 24 horas y no existen las cámaras de compensación que se utilizan en las bolsas tradicionales para procesar y liquidar operaciones. En ese entorno apareció una herramienta innovadora: los préstamos relámpago (flash loans), que permiten a una persona pedir prestadas criptomonedas sin garantía alguna, utilizarlas durante una fracción de segundo y devolverlas en la misma operación. Si no puede devolverlas, la operación se cancela como si nunca hubiera ocurrido.

¿Cómo funciona algo así? ¿Por qué es seguro para quien presta el dinero? ¿Y para qué sirve, además de ser una curiosidad técnica? Este artículo explica el mecanismo de los préstamos relámpago, describe un sistema real que los utiliza para realizar arbitraje de manera automatizada y reflexiona sobre sus posibles aplicaciones en el sistema financiero mexicano.

¿Qué es la blockchain?

Antes de entrar al tema central, conviene entender la tecnología que lo hace posible. Una blockchain, o cadena de bloques, es una tecnología descentralizada para gestionar transacciones y datos cuya integridad es mantenida colectivamente por una red de computadoras, llamadas nodos, sin depender de una sola entidad [1]. Funciona como un libro contable digital que se mantiene de forma colectiva entre miles de computadoras alrededor del mundo. Cada vez que alguien realiza una transacción, esta se agrupa con otras dentro de un “bloque”, y cada bloque queda enlazado al anterior mediante una huella digital única llamada hash, un código generado matemáticamente que permite identificar la información. Modificar una transacción pasada exigiría alterar los bloques posteriores y modificar los registros distribuidos en la red. De ahí una de las características más importantes de la blockchain: los registros confirmados están diseñados para ser resistentes a modificaciones posteriores.

Las criptomonedas son activos digitales que funcionan dentro de estas redes. La más conocida, Bitcoin, surgió en 2008 como una alternativa electrónica al dinero tradicional [2], pero



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

el ecosistema actual incluye miles de criptomonedas distintas y, según datos recopilados en [3], durante 2024 alcanzó una capitalización de mercado de entre 1.7 y 3.4 billones de dólares.

En 2015, una nueva blockchain llamada Ethereum amplió las posibilidades del concepto. Mientras que Bitcoin fue diseñado principalmente como un sistema de dinero electrónico, Ethereum permite ejecutar programas dentro de la red. Estos programas se llaman contratos inteligentes (smart contracts) y son, en palabras simples, programas autoejecutables: el código verifica que se cumplan determinadas condiciones y, cuando esto sucede, ejecuta automáticamente la operación sin necesidad de un intermediario [4].

Las finanzas descentralizadas: bancos sin bancos

Sobre la base de Ethereum y otras blockchains similares surgió un movimiento llamado finanzas descentralizadas o DeFi, por sus siglas en inglés (decentralized finance). Según [5], se trata de aplicaciones, como Uniswap y SushiSwap, que ofrecen servicios similares a algunos de los proporcionados por instituciones financieras —como préstamos, intercambios de activos, depósitos y otros productos—, pero sin que exista un banco como intermediario. Las operaciones se ejecutan mediante contratos inteligentes y, en muchos casos, los fondos provienen de usuarios que depositan sus activos en fondos comunes que pueden utilizarse de acuerdo con reglas previamente establecidas [6].

Una persona en cualquier parte del mundo, con conexión a internet y una cartera digital compatible, puede solicitar determinados préstamos, intercambiar activos o invertir en cuestión de segundos, sin recurrir necesariamente a una institución financiera tradicional. Este modelo aporta tres rasgos distintivos: las distintas aplicaciones pueden conectarse entre sí como piezas de Lego, las operaciones quedan registradas públicamente en la blockchain y algunos protocolos permiten que sus usuarios participen en determinadas decisiones mediante mecanismos de gobernanza digital. La contraparte, según [7], es que esa misma libertad expone a los usuarios a riesgos técnicos y a una protección regulatoria distinta o, en algunos casos, menor que la existente en los mercados financieros tradicionales.

El arbitraje y por qué es difícil

Como se mencionó al inicio, el arbitraje consiste en aprovechar diferencias de precio entre mercados. En la teoría económica clásica, [8] explicó que estas oportunidades, en mercados eficientes, deberían desaparecer rápidamente: en cuanto alguien las descubre y las aprovecha, los precios tienden a igualarse. Sin embargo, en mercados emergentes y muy volátiles como los de criptomonedas, estas diferencias pueden persistir, como muestran los estudios recogidos en [9] y [10].

Tradicionalmente, hacer arbitraje implicaba tres barreras importantes. La primera es el capital: para que el negocio valga la pena, hay que mover montos grandes, ya que una diferencia del 0.5 % solo deja ganancias notables si se opera con cientos de miles de pesos. La segunda es la velocidad: en las criptomonedas, los precios cambian en fracciones de segundo y los participantes humanos no pueden competir con sistemas automatizados [11], [12]. La tercera es la competencia: existen bots, es decir, programas automáticos, que vigilan continuamente las operaciones de otros y, si detectan alguna pendiente de ejecutarse, pueden intentar anticiparse o modificar el orden de las transacciones para apropiarse de parte de la ganancia. Este fenómeno forma parte de lo que se conoce como MEV (Maximal Extractable Value o valor máximo extraíble) y se documenta en [13].

Estas tres barreras parecían cerrar la puerta del arbitraje a quien no tuviera capital ni infraestructura. Hasta que apareció un mecanismo que las redefinió por completo.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

Los préstamos relámpago

Un préstamo relámpago (flash loan) es un préstamo de criptomonedas que se solicita, se utiliza y se devuelve dentro de una sola transacción, en cuestión de fracciones de segundo [14]. Para entenderlo, una analogía cotidiana puede ayudar. Imagine que alguien le presta dinero justo en el momento en que usted ve un objeto en una subasta que puede comprar barato y revender más caro en la tienda de al lado. Usted realiza la operación completa, devuelve el dinero con la comisión correspondiente y se queda con la ganancia. Si la reventa no sale como esperaba, la transacción entera se deshace: ni compró, ni vendió, ni recibió finalmente el préstamo.

Esa propiedad se llama atomicidad. Una transacción atómica en la blockchain se ejecuta por completo o no se ejecuta. Si en cualquiera de sus pasos algo falla, todo el proceso se cancela y el sistema regresa al estado anterior, como si la operación nunca hubiera comenzado (Figura 1).

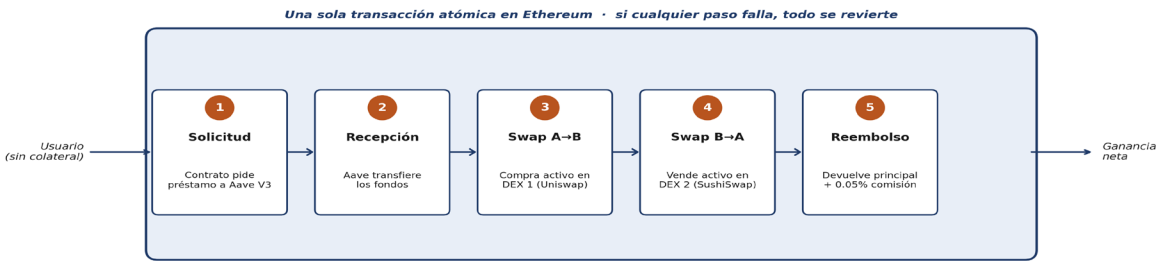


Figura 1. Secuencia de un préstamo flash en una transacción atómica.

Figura 1. Secuencia de un préstamo relámpago en una transacción atómica.

Fuente: adaptado de [15], [16].

¿Cómo puede el sistema confiar en alguien sin garantías? La respuesta está justamente en la atomicidad: si el préstamo no se devuelve, la transacción completa se anula, incluido el préstamo mismo. El protocolo no necesita confiar en el solicitante porque el préstamo solo queda confirmado si los fondos son devueltos dentro de la misma transacción.

El mecanismo elimina de un solo golpe la barrera del capital. Una persona sin utilizar recursos propios puede solicitar temporalmente un volumen considerable de activos, realizar una operación de arbitraje entre dos plataformas y devolver el préstamo, quedándose con la diferencia después de cubrir las comisiones y los costos de la operación, todo en cuestión de segundos. El primer estudio sistemático sobre este tipo de préstamos, documentado en [17], menciona que el arbitraje es uno de sus usos más frecuentes, aunque también advierte que la misma capacidad ha sido utilizada en ataques y manipulaciones de precios en algunos protocolos [18].

Las plataformas que ofrecen préstamos relámpago

Entre las plataformas que han ofrecido préstamos relámpago en el ecosistema de Ethereum se encuentran Aave y dYdX. Estos protocolos funcionan mediante fondos de liquidez: usuarios depositan criptomonedas en fondos comunes y esos recursos pueden utilizarse automáticamente bajo las reglas establecidas en contratos inteligentes. No hay ejecutivos, sucursales ni horarios de atención involucrados en la ejecución de estas operaciones.

Aave, descrita en detalle en [16], es uno de los protocolos más conocidos por ofrecer este tipo de operaciones y establece una comisión por el uso de préstamos relámpago. dYdX, por su parte, ofreció en su momento mecanismos de préstamo con características distintas y un número más limitado de activos. Lo importante para esta exposición es que ambos ejemplos comparten un principio observado en [19]: los préstamos relámpago no son dinero nuevo crea-



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

do de la nada, sino el aprovechamiento temporal de fondos disponibles dentro de protocolos descentralizados, mediante una transacción que garantiza que se cumplan las condiciones establecidas antes de quedar confirmada.

Un sistema real construido sobre estas ideas

Para mostrar cómo se conectan estos conceptos en la práctica, se desarrolló un sistema que detecta diferencias de precio entre plataformas de intercambio descentralizado, solicita un préstamo relámpago, ejecuta la operación de arbitraje y devuelve el préstamo con su comisión, todo de manera automatizada (Figura 2).

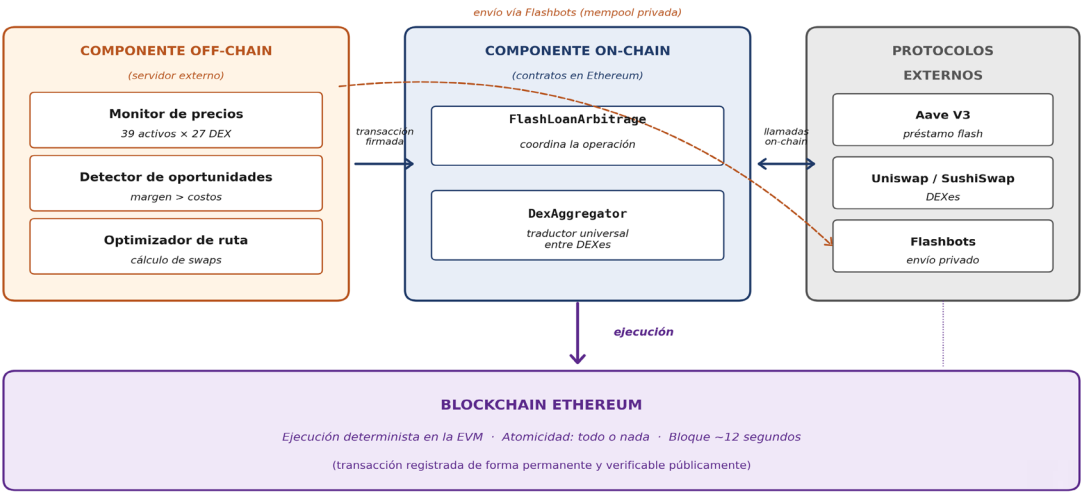


Figura 2. Arquitectura del sistema de arbitraje automatizado. Componente fuera de la cadena (off-chain) para monitoreo y toma de decisiones y componente dentro de la cadena (on-chain) para la ejecución, conectados a protocolos sobre Ethereum.

Fuente: elaboración propia.

El sistema consta de dos partes que trabajan en conjunto. Una vive fuera de la blockchain (off-chain): un programa que vigila continuamente los precios de 39 monedas digitales en 27 plataformas distintas. Cuando detecta una diferencia lo suficientemente grande como para que la ganancia supere los costos de la operación, calcula la mejor ruta de intercambio y prepara una propuesta. La otra vive dentro de la blockchain (on-chain): dos contratos inteligentes que reciben la propuesta, solicitan el préstamo, ejecutan los intercambios y devuelven los fondos. Si en cualquier momento la diferencia de precio desaparece o algo falla, la transacción se cancela automáticamente y el sistema solo asume el costo computacional asociado al intento.

El sistema incorpora además una protección frente a los bots que vigilan las operaciones para anticiparse a ellas. En vez de enviar la transacción a la cola pública, donde puede ser observada antes de su ejecución, la envía mediante Flashbots, una infraestructura que permite transmitir transacciones de manera privada para reducir su exposición antes de que sean incluidas en un bloque.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

Resultados

Durante la fase de pruebas se documentaron escenarios reales de operación. En el primero, el sistema detectó una oportunidad entre dos plataformas, validó la rentabilidad, solicitó el préstamo, ejecutó los intercambios y devolvió el capital en una sola transacción. La ganancia neta fue modesta, de aproximadamente medio dólar, pero la operación quedó registrada de forma permanente en el bloque número 22,584,625 de la blockchain de Ethereum, donde cualquier persona puede consultarla. La prueba demuestra, en condiciones reales de mercado, que un sistema sin utilizar capital propio para financiar la operación y sin intervención humana durante su ejecución puede obtener ganancias mediante arbitraje.

Enlace de consulta en Etherscan:

<https://etherscan.io/tx/0x2835d38ddbfb25abaaf54a8897b4601167adec9716239d2013b5ce82d005d303>

En otros escenarios, el sistema decidió no ejecutar operaciones porque los costos superaban la ganancia esperada o reaccionó adecuadamente cuando la oportunidad desapareció antes de poder aprovecharla. En estos casos, la operación no llegó a completarse, de acuerdo con el principio de atomicidad.

¿Por qué debería importar?

Más allá de la curiosidad técnica, los préstamos relámpago tienen tres implicaciones que conviene considerar.

La primera es conceptual. En el sistema bancario tradicional, prestar dinero exige evaluar la solvencia de quien lo recibe, exigir garantías y cubrir el riesgo de impago mediante intereses y otros mecanismos. Los préstamos relámpago demuestran que, en ciertos contextos muy específicos, parte de esa función puede sustituirse por una propiedad técnica del medio. Es un cambio de paradigma limitado pero significativo: la confianza en el solicitante se reemplaza por las reglas de ejecución de una transacción atómica.

La segunda es financiera. En el sector mexicano, estas tecnologías plantean preguntas concretas. De acuerdo con el informe trimestral de la Comisión Nacional del Sistema de Ahorro para el Retiro (CONSAR) al H. Congreso de la Unión, correspondiente al primer trimestre de 2025, los activos netos del Sistema de Ahorro para el Retiro (SAR) alcanzaron 7.2 billones de pesos, con una concentración del 51.6 % en deuda gubernamental nacional [20] (Figura 3). Estrategias automatizadas como las descritas, sujetas a una evaluación rigurosa de sus riesgos, supervisión regulatoria y custodia institucional, podrían estudiarse como posibles complementos marginales de los instrumentos tradicionales de las Administradoras de Fondos para el Retiro (AFORES). Falta, sin embargo, un marco normativo claro y prácticas de auditoría comparables a las que rigen otros instrumentos del sistema de pensiones. Sin esas condiciones, el potencial técnico difícilmente podría traducirse en beneficios para los ahorradores.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

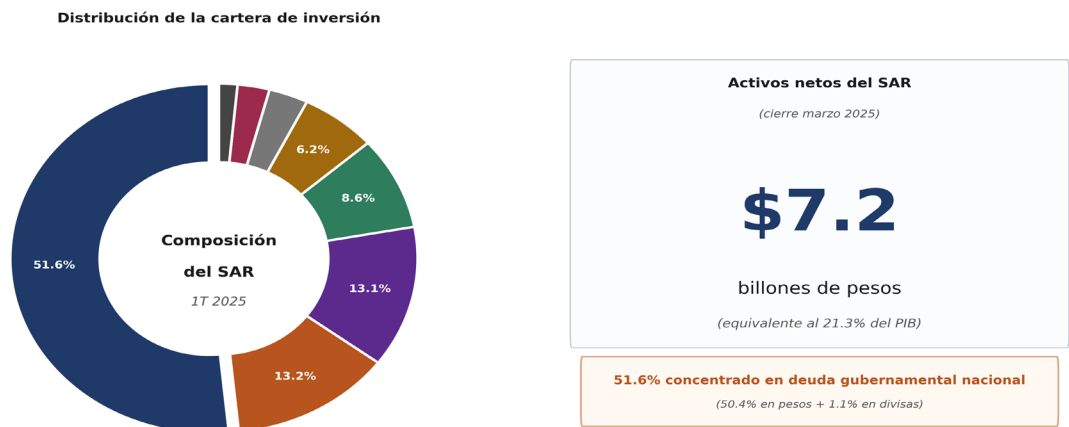


Figura 3. Composición de los activos netos del Sistema de Ahorro para el Retiro al cierre del primer trimestre de 2025.
Fuente: elaboración propia con datos del Cuadro 3-5 del Informe CONSAR al H. Congreso de la Unión, 1T 2025 [21].

Figura 3. Composición de los activos del SAR durante el primer trimestre de 2025.

Fuente: CONSAR [20], Cuadro 3-5.

La tercera es regulatoria. Los contratos inteligentes no necesariamente constituyen contratos legales en sentido estricto [21], pero se ejecutan automáticamente mediante código. Esta diferencia entre ejecución tecnológica y reconocimiento jurídico exige construir marcos normativos que consideren la naturaleza técnica del instrumento sin dejar vacíos de supervisión.

Conclusión

Los préstamos relámpago son un ejemplo concreto de cómo una propiedad técnica de la blockchain, la atomicidad, permite realizar una operación financiera que no tiene un equivalente directo en la banca tradicional. El sistema descrito demuestra que esta tecnología puede funcionar, producir resultados verificables y abrir un camino hacia aplicaciones de mayor escala. Persisten, sin embargo, limitaciones operativas relevantes: congestión de la red, costos variables, dependencia de infraestructura externa y la necesidad de un marco regulatorio aún en construcción.

La evidencia disponible justifica avanzar hacia preguntas más específicas sobre cómo evaluar, supervisar e integrar este tipo de mecanismos en infraestructuras financieras de uso público. ¿Es la atomicidad una propiedad lo suficientemente robusta para sostener instrumentos financieros utilizados por millones de personas? La respuesta corresponde parcialmente a la investigación técnica, pero también al diseño de la regulación y, en última instancia, a la disposición de las instituciones para explorar soluciones provenientes de un terreno aún poco conocido.

Referencias

[1] J. Yli-Huumo, D. Ko, S. Choi, S. Park y K. Smolander, “Where is current research on blockchain technology? — A systematic review,” PLoS ONE, vol. 11, no. 10, p. e0163477, oct. 2016, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163477>.

[2] S. Nakamoto, “Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system,” 2008. [En línea]. Disponible: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

[3] CoinMarketCap, “Top cryptocurrencies by market capitalization,” 2024. [En línea]. Disponible: <https://coinmarketcap.com>

[4] V. Buterin, “Ethereum white paper: A next-generation smart contract and decentralized



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

application platform,” 2014. [En línea]. Disponible: <https://ethereum.org/whitepaper>

[5] F. Schär, “Decentralized finance: On blockchain- and smart contract-based financial markets,” *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, vol. 103, no. 2, pp. 153–174, abr. 2021, doi: <https://doi.org/10.20955/r.103.153-74>.

[6] D. A. Zetsche, D. W. Arner y R. P. Buckley, “Decentralized finance,” *Journal of Financial Regulation*, vol. 6, no. 2, pp. 172–203, sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.1093/jfr/fjaa010>.

[7] J. Castillo León y A. Lehar, “What data have told us about decentralized finance,” *Journal of Corporate Finance*, vol. 96, p. 102916, ene. 2026, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2025.102916>.

[8] H. R. Varian, “The arbitrage principle in financial economics,” *Journal of Economic Perspectives*, vol. 1, no. 2, pp. 55–72, nov. 1987, doi: <https://doi.org/10.1257/jep.1.2.55>.

[9] K. Duan, Z. Li, A. Urquhart y J. Ye, “Dynamic efficiency and arbitrage potential in Bitcoin: A long-memory approach,” *International Review of Financial Analysis*, vol. 75, p. 101725, may. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2021.101725>.

[10] I. Makarov y A. Schoar, “Trading and arbitrage in cryptocurrency markets,” *Journal of Financial Economics*, vol. 135, no. 2, pp. 293–319, feb. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.07.001>.

[11] A. Sari, M. A. Gavcar, S. Aplay y A. Ozsoy, “Automated trading in cryptocurrency markets: Strategies, impacts, and future directions,” en *2025 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, ene. 2025, pp. 1–6, doi: <https://doi.org/10.1109/ICCE63647.2025.10930129>.

[12] A. Alexander, “Latency arbitrage in cryptocurrency markets: Analyzing execution speeds & liquidity dynamics,” *SSRN*, 2025, doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.5143158>.

[13] P. Daian et al., “Flash boys 2.0: Frontrunning, transaction reordering, and consensus instability in decentralized exchanges,” *arXiv:1904.05234*, abr. 2019, doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1904.05234>.

[14] R. Kanojia, “Flash loan arbitrage bot,” *SSRN Journal*, 2023, doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4447220>.

[15] Y. Cao, C. Zou y X. Cheng, “Flashot: A snapshot of flash loan attack on DeFi ecosystem,” *arXiv:2102.00626*, feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2102.00626>.

[16] E. Frangella y L. Herskind, *Aave V3 Technical Paper*, ene. 2022. [En línea]. Disponible: https://github.com/aave/aave-v3-core/blob/master/techpaper/Aave_V3_Technical_Paper.pdf

[17] D. Wang et al., “Towards a first step to understand flash loan and its applications in DeFi ecosystem,” en *Proc. 9th Int. Workshop on Security in Blockchain and Cloud Computing*, may. 2021, pp. 23–28, doi: <https://doi.org/10.1145/3457977.3460301>.

[18] K. Qin, L. Zhou, B. Livshits y A. Gervais, “Attacking the DeFi ecosystem with flash loans for fun and profit,” en *Financial Cryptography and Data Security, LNCS 12674*, Springer, 2021, pp. 3–32, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-662-64331-0_1.

[19] S. Werner, D. Perez, L. Gudgeon, A. Klages-Mundt, D. Harz y W. Knottenbelt, “SoK: Decentralized finance (DeFi),” en *Proc. 4th ACM Conf. on Advances in Financial Technologies*, sep. 2022, pp. 30–46, doi: <https://doi.org/10.1145/3558535.3559780>.

[20] Comisión Nacional del Sistema de Ahorro para el Retiro (CONSAR), *Informe al Congreso – 1er Trimestre 2025*, Ciudad de México, México, may. 2025. [En línea]. Disponible: https://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2025/05/asun_4901802_20250527_1748357535.pdf

[21] P. De Filippi y A. Wright, *Blockchain and the Law: The Rule of Code*, cap. 4, “Smart Contracts as Legal Contracts,” Cambridge, MA: Harvard University Press, 2018, pp. 72–88, doi: <https://doi.org/10.4159/9780674985933-005>.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO



CIENCIAS BÁSICAS

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 3, julio-septiembre 2026
<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.03.bas.01>
e0403BAS01

CIENCIA VITAL
Revista de Divulgación Científica de la UACJ
ISSN 2630-2097

Del usuario a la solución: cómo el diseño axiomático

puede apoyar
el diseño industrial

Daniel Alexis Torres Flores¹



¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
al250972@alumnos.uacj.mx.

<https://orcid.org/0009-0000-1915-1704>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

INTRODUCCIÓN

Diseñar no consiste únicamente en definir una forma o incorporar una tecnología, sino en atender múltiples aspectos dentro de una misma solución. Un producto puede funcionar técnicamente y, aun así, resultar incómodo, confuso, difícil de fabricar o perjudicial para el ambiente. También puede ser atractivo y, sin embargo, no resolver adecuadamente la necesidad para la cual fue creado.

El diseño industrial enfrenta precisamente esta complejidad, ya que debe considerar aspectos relacionados con las necesidades humanas, el funcionamiento, la apariencia, los materiales, la manufactura y el ambiente [1]–[6]. Para abordarlos, dispone de diversas herramientas, desde la investigación e identificación de las necesidades del cliente, pasando por la generación de conceptos y el prototipado, hasta la evaluación de la usabilidad y los procesos de manufactura [5], [7]. Sin embargo, a medida que aumentan la información y las decisiones involucradas, también surge la necesidad de organizarlas con claridad durante el desarrollo.

Nam P. Suh desarrolló la teoría del diseño axiomático (DA) como un marco para abordar el proceso de diseño. Entre sus elementos fundamentales se encuentran dos axiomas: conservar la independencia de los requisitos funcionales y minimizar el contenido de información [8]–[10]. Además, el DA organiza el proceso de desarrollo en cuatro dominios: cliente, funcional, físico y proceso. Esta estructura no pretende sustituir el proceso creativo, sino organizarlo y proporcionar criterios para revisar las decisiones conforme el diseño evoluciona [9], [10].

El propósito de este artículo es explicar cómo el diseño axiomático puede apoyar y estructurar determinados procesos del diseño industrial sin sustituir sus herramientas. Para ello, se realiza un análisis conceptual, no exhaustivo, de su relación con cinco dimensiones de la disciplina y de aplicaciones reportadas en la literatura científica.

Diseñar es atender varias dimensiones simultáneamente

El diseño industrial abarca una amplia variedad de aspectos que han sido descritos desde distintas perspectivas. Entre ellos se encuentran las personas, el contexto, la experiencia de uso, la apariencia, la funcionalidad, la tecnología, los materiales, la manufactura, el valor y los impactos económicos, sociales y ambientales [1]–[4].

Para fines de este análisis, esta diversidad puede organizarse en cinco dimensiones interrelacionadas:

Personas y experiencia. Comprende las necesidades, la ergonomía, la usabilidad y la interacción [1], [2], [4].

Función y tecnología. Considera la funcionalidad, el desempeño y la tecnología [2]–[4].

Forma y significado. Incluye la apariencia, la estética, la identidad, la comunicación y la percepción del producto [2], [4].

Materialización y viabilidad. Abarca los materiales, la fabricación, el ensamble, el costo y la facilidad para fabricar un producto [2], [3].

Impacto y ciclo de vida. Considera la sostenibilidad y las consecuencias económicas, sociales y ambientales asociadas con el uso, la reparación y el fin de vida del producto [1], [4], [6].

Estas cinco dimensiones (Figura 1) no pretenden constituir una clasificación universal, sino una síntesis analítica para organizar distintos aspectos del diseño industrial.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO



Figura 1. Síntesis de las cinco dimensiones del diseño industrial empleadas en este análisis: personas y experiencia, función y tecnología, forma y significado, materialización y viabilidad, e impacto y ciclo de vida. Fuente: elaboración propia con base en [1]–[4], [6].

Aunque se presentan por separado, estas dimensiones se encuentran relacionadas durante el desarrollo. La práctica del diseño industrial implica relaciones entre usuarios y contexto, tecnología, materiales, manufactura y productos [3], mientras que distintas perspectivas técnicas, humanas, digitales y sociales pueden coexistir dentro del diseño de producto [4]. Por ejemplo, las decisiones orientadas a la manufactura deben considerar los procesos de producción y ensamble, así como sus costos [3]. El reto consiste en mantener visibles estas relaciones durante el desarrollo.

De las necesidades a la materialización

El diseño axiomático propone organizar el proceso mediante cuatro dominios (Figura 2). Cada uno representa un tipo distinto de decisión [9]–[11]:

- » El dominio del cliente reúne las necesidades y los atributos valorados por las personas.
- » El dominio funcional define qué debe conseguir el diseño mediante requisitos funcionales y restricciones.
- » El dominio físico establece mediante qué soluciones se cumplirán esos requisitos.
- » El dominio del proceso determina cómo se fabricarán o materializarán las soluciones.

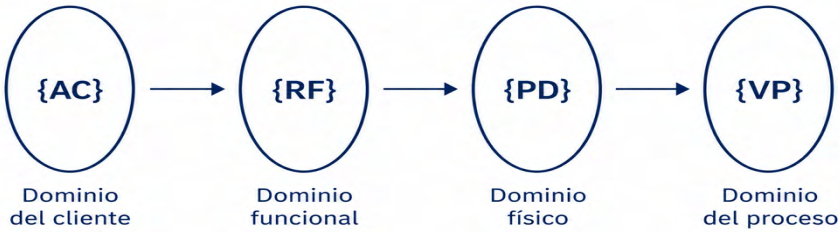


Figura 2. Dominios y mapeos del diseño axiomático: atributos del cliente (AC), requisitos funcionales (RF), parámetros de diseño (PD) y variables del proceso (VP). Fuente: elaboración con base en [9]–[11].

En conjunto, los dominios establecen una secuencia lógica que relaciona las necesidades con lo que el diseño debe lograr, las soluciones propuestas para conseguirlo y la manera en que estas serán materializadas. Esta estructura permite distinguir “lo que se quiere lograr” de “cómo se propone lograrlo” [9], [10].

El DA no prescribe de antemano qué forma o mecanismo debe tener la solución. A partir de las necesidades identificadas se formulan los requisitos funcionales (RF), que expresan qué debe lograr el diseño. Suh plantea que estos requisitos deben definirse sin fijar previamente una solución; posteriormente, en el dominio físico, el diseñador propone parámetros de diseño (PD) capaces de satisfacerlos [9], [10]. Durante esta transición pueden explorarse distintas alternativas mediante herramientas como bocetos, modelos o prototipos [5], [7]; por ello, definir cómo satisfacer un RF continúa siendo una actividad abierta y creativa.

Por ejemplo, ante el requisito:

RF1. Permitir la apertura del envase con poco esfuerzo.

En el dominio físico pueden explorarse distintos PD candidatos, como una pestaña, una tapa roscada o una tapa abatible. Al seleccionar un PD, su descomposición puede conducir a parámetros más específicos, como la geometría o las dimensiones. El RF (Figura 3) expresa qué debe lograrse y el PD, cómo se propone satisfacerlo [9], [10].



Figura 3. Ejemplo del mapeo entre un requisito funcional (RF) y un parámetro de diseño (PD) mediante la exploración de distintas alternativas de solución. Fuente: elaboración propia con base en [9], [10].

Dos principios para revisar las alternativas

Los dominios estructuran el desarrollo del diseño, mientras que los dos axiomas proporcionan criterios para analizar las soluciones propuestas [9], [10].

¿Una decisión altera otras funciones?

El primer principio propuesto por Suh es el axioma de independencia, el cual establece que debe mantenerse la independencia de los requisitos funcionales (RF) [8]–[10]. Esto significa que, cuando existen varios RF, la solución debe permitir satisfacer cada uno sin afectar de manera no deseada a los demás [9], [10].

Una manera de analizar estas relaciones es mediante una matriz de diseño, es decir, una representación que muestra cómo los parámetros de diseño (PD) afectan a los requisitos funcionales (RF) [9], [10]. Dependiendo de estas relaciones, un diseño puede ser (Figura 4):

No acoplado. Cada RF puede satisfacerse independientemente mediante su PD correspondiente. La modificación de un PD no afecta a los demás RF.

Desacoplado. Algunos PD afectan a más de un RF, pero la independencia puede mantenerse si los parámetros se ajustan siguiendo una secuencia determinada.

Acoplado. Las relaciones entre los PD y los RF no permiten mantener la independencia funcional; al modificar parámetros para satisfacer determinados RF también se afectan otros [9], [10].

	Diseño no acoplado			Diseño desacoplado			Diseño acoplado		
	PD1	PD2	PD3	PD1	PD2	PD3	PD1	PD2	PD3
RF1	X	0	0	X	0	0	X	X	X
RF2	0	X	0	X	X	0	X	X	X
RF3	0	0	X	X	X	X	X	X	X

Figura 4. Tipos de relación entre requisitos funcionales (RF) y parámetros de diseño (PD) en el diseño axiomático: no acoplado, desacoplado y acoplado. Fuente: elaboración propia con base en [9], [10].

Por ejemplo, pensemos en un grifo con los siguientes requisitos:

- RF1.** Controlar el caudal de agua.
 - RF2.** Controlar la temperatura del agua.
- En un grifo tradicional, la apertura de las válvulas de agua caliente y fría afecta simultáneamente el caudal y la temperatura, lo que genera un diseño acoplado:
- PD1.** Apertura de la válvula de agua caliente.
 - PD2.** Apertura de la válvula de agua fría.
- En cambio, una configuración con controles independientes puede plantearse como:
- PD1.** Un control del caudal.
 - PD2.** Un control de la temperatura.

Esta configuración representa un diseño no acoplado [10]. La Figura 5 muestra una comparación.

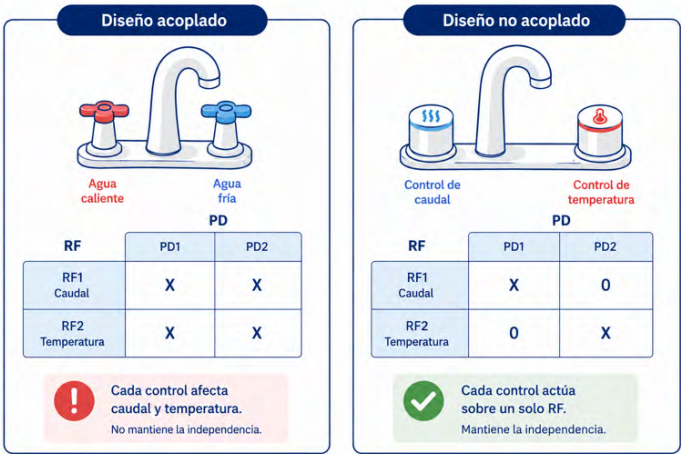


Figura 5. Comparación entre un diseño acoplado y uno no acoplado mediante las relaciones entre requisitos funcionales (RF) y parámetros de diseño (PD), utilizando como ejemplo un grifo. Fuente: elaboración propia con base en [9], [10].



Mantener la independencia funcional no significa, sin embargo, que cada función requiera una pieza física diferente. Suh distingue la independencia funcional de la independencia física: varios parámetros de diseño pueden integrarse físicamente siempre que los requisitos funcionales continúen siendo satisfechos independientemente [9], [10].

¿Cuál solución tiene mayor probabilidad de cumplir?

El segundo principio es el axioma de información (Figura 6). Durante el paso de los RF a los PD pueden existir distintas alternativas capaces de satisfacer los mismos requisitos y cumplir con el axioma de independencia. Cuando esto ocurre, Suh propone favorecer aquella con el menor contenido de información [9], [10], expresado mediante:

$I = -\log_2(p)$

donde p representa la probabilidad de satisfacer un requisito funcional e I , su contenido de información. A medida que la probabilidad de satisfacer el RF aumenta, el contenido de información disminuye; si $p = 1$, entonces $I = 0$. Por lo tanto, seleccionar la alternativa con menor contenido de información equivale a favorecer aquella con mayor probabilidad de satisfacer los RF. En este contexto, información no se refiere a la cantidad de datos o documentación del diseño, sino a una medida asociada con su probabilidad de éxito [9], [10].

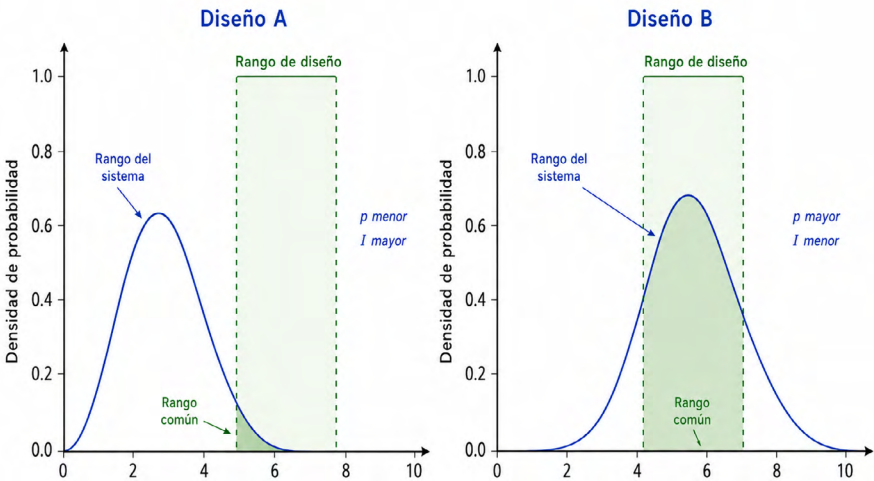


Figura 6. Representación del axioma de información mediante el rango de diseño, el rango del sistema y el rango común, cuya relación permite estimar la probabilidad de satisfacer un requisito funcional. Fuente: elaboración propia con base en [9], [10].

Para estimar esta probabilidad, Suh distingue el rango de diseño, que establece los resultados aceptables para satisfacer un RF; el rango del sistema, que representa la distribución de resultados que una solución puede producir; y el rango común, correspondiente a la intersección entre ambos. Cuanto mayor sea la proporción de la distribución del sistema que queda dentro de este rango común, mayor será la probabilidad de satisfacer el RF y menor su contenido de información [9], [10].

Pensemos en un termo cuyo requisito sea:

RF1. Limitar la pérdida de temperatura después de una hora a un máximo de 10 °C.
Supongamos dos configuraciones de aislamiento:



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

La **alternativa A** pierde en promedio 7 °C, pero presenta una variación que hace que algunas unidades excedan el límite.
La **alternativa B** pierde en promedio 8 °C, pero sus resultados son más consistentes y permanecen con mayor frecuencia dentro del rango aceptable.

Aunque la alternativa A presenta un mejor valor promedio, la alternativa B puede tener mayor probabilidad de satisfacer el RF y, por tanto, menor contenido de información (Figura 7).



Figura 7. Comparación de dos alternativas de aislamiento según su probabilidad de satisfacer el requisito funcional relacionado con la pérdida de temperatura. Fuente: elaboración propia con base en [9], [10].

Cuando existen varios RF en un diseño no acoplado, sus contenidos de información pueden sumarse para obtener el contenido de información total. Entre las alternativas consideradas, se favorece aquella con el menor valor total, lo que corresponde a una mayor probabilidad de satisfacer el conjunto de requisitos [9], [10].

Aplicaciones del diseño axiomático en el desarrollo de productos

El diseño axiomático ha sido utilizado como marco de apoyo en diversos problemas de diseño y toma de decisiones. En una revisión de 63 trabajos, Kulak et al. muestran que el DA ha sido empleado de distintas maneras: en diseño de productos, sistemas, manufactura y problemas multicriterio, así como mediante la integración con otras metodologías y el desarrollo de nuevos enfoques a partir de sus principios. La revisión también identifica al axioma de independencia como el más utilizado, particularmente en problemas de diseño, mientras que el axioma de información adquirió relevancia en aplicaciones de evaluación y decisión multicriterio, incluyendo su combinación con métodos difusos [12].

Estas posibilidades se observan en distintas etapas y dimensiones del desarrollo de productos. Mullens et al. identificaron interacciones entre requisitos funcionales para dividir problemas conceptuales complejos en grupos más manejables, combinando el axioma de independencia con *House of Quality* (Casa de la Calidad, una herramienta para relacionar las necesidades del cliente con características del producto) y técnicas de partición de redes [13]. Adilah et al. emplearon los dominios del DA y el axioma de independencia para transformar preferencias relacionadas con funcionalidad, circularidad y características inteligentes en requisitos funcionales y parámetros de diseño, lo que permitió detectar acoplamientos tempranos y continuar la



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

descomposición de la propuesta [14]. Por otra parte, Soni et al. exploraron los requisitos estéticos y sus relaciones perceptuales con operaciones sobre la forma del producto mediante una extensión de la estructura de dominios y mapeos del DA [15].

De igual manera, Peña-Ontiveros et al. combinaron el axioma de información con herramientas como el proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés), un método para comparar y jerarquizar alternativas, y la lógica difusa, un enfoque matemático que permite trabajar con información imprecisa, para desarrollar un índice de usabilidad capaz de transformar valoraciones subjetivas y comparar alternativas de producto [16]. Helander y Lin exploraron su aplicación en ergonomía; sin embargo, encontraron que la aplicación directa del axioma de información podía resultar inadecuada en determinados problemas antropométricos, es decir, relacionados con las dimensiones y características físicas del cuerpo humano, por lo que propusieron modificar su formulación de acuerdo con la proporción de la población que una solución puede acomodar [17]. Finalmente, Abela et al. utilizaron los dominios y mapeos del DA para conectar las necesidades del usuario con requisitos y características del producto y, posteriormente, con la selección del proceso de manufactura [18].

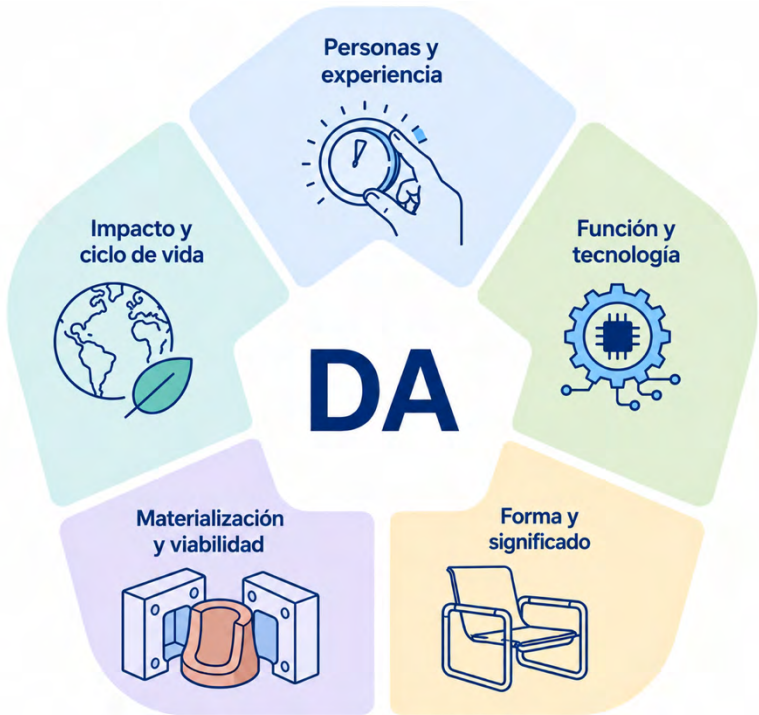


Figura 8. Relación del diseño axiomático con las cinco dimensiones del diseño industrial consideradas en este análisis. Fuente: elaboración propia con base en [13]–[18].

Vistas desde las cinco dimensiones propuestas al inicio, estas investigaciones permiten relacionar la ergonomía y la usabilidad con personas y experiencia [16], [17]; la estética con forma y significado [15]; el diseño conceptual y las características inteligentes con función y tecnología [13], [14]; la selección de manufactura con materialización y viabilidad [18]; y la circularidad con impacto y ciclo de vida [14]. Estas relaciones no son exclusivas: varios estudios atraviesan más de una dimensión, precisamente porque las decisiones de diseño se influyen entre sí.

Conclusión

Diseñar un producto implica relacionar necesidades humanas, funcionamiento, tecnología, forma, materiales, manufactura e impactos asociados con su ciclo de vida, entre otras considera-

ciones. Aunque estas dimensiones pueden abordarse mediante herramientas especializadas, su interdependencia constituye uno de los retos del diseño industrial.

El diseño axiomático ofrece una estructura para conservar visibles estas relaciones mediante el tránsito entre necesidades del cliente, requisitos funcionales, parámetros de diseño y variables del proceso [8]–[10]. Sus axiomas permiten identificar y reducir relaciones no deseadas entre requisitos y soluciones y, entre alternativas que satisfacen dichos requisitos, favorecer aquellas con menor contenido de información y mayor probabilidad de cumplimiento.

Los casos revisados muestran que este apoyo no adopta una única forma: algunas investigaciones emplean principalmente los dominios y mapeos del DA; otras utilizan directamente uno o ambos axiomas; y varias incorporan herramientas complementarias o adaptan su formulación a las particularidades del problema [12]–[18]. Esta diversidad desaconseja interpretar al DA como un método autosuficiente y refuerza su uso como un marco que puede articularse con conocimientos y herramientas especializados.

Por ello, más que sustituir los procesos y métodos existentes del diseño industrial, el DA puede entenderse como una estructura complementaria para organizar, relacionar y revisar decisiones durante el desarrollo de productos. Su utilidad no radica en eliminar la creatividad ni en garantizar una solución correcta, sino en hacer explícitas las relaciones entre necesidades, funciones y soluciones, aportando criterios que pueden articularse con las herramientas especializadas que cada problema demande.

Referencias

- [1] World Design Organization, “Definition of Industrial Design.” [En línea]. Disponible en: <https://wdo.org/about/definition/>. Consultado: 13 ago. 2026.
- [2] Industrial Designers Society of America, “What Is Industrial Design?” [En línea]. Disponible en: <https://www.idsa.org/about-idsa/advocacy/what-industrial-design/>. Consultado: 13 ago. 2026.
- [3] F. Tapia, P. Pradel y R. Bibb, “A conceptual model of industrial design practice,” en *DS 130: Proceedings of NordDesign 2024*, Reykjavik, Iceland, pp. 626–634, 2024, doi: <https://doi.org/10.35199/NORDDDESIGN2024.67>.
- [4] L. Rampino, *Evolving Perspectives in Product Design: From Mass Production to Social Awareness*. Milano, Italia: FrancoAngeli, 2022, ISBN 978-88-351-4370-3.
- [5] K. T. Ulrich, S. D. Eppinger y M. C. Yang, *Product Design and Development*, 7th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2020, ISBN 978-1-260-04365-5.
- [6] Industrial Designers Society of America, “Circular Design.” [En línea]. Disponible en: <https://www.idsa.org/circular-design/>. Consultado: 13 ago. 2026.
- [7] B. Hanington y B. Martin, *Universal Methods of Design Expanded and Revised: 125 Ways to Research Complex Problems, Develop Innovative Ideas, and Design Effective Solutions*. Beverly, MA, USA: Rockport Publishers, 2019, ISBN 978-1-63159-748-0.
- [8] N. P. Suh, *The Principles of Design*. New York, NY, USA: Oxford University Press, 1990.
- [9] N. P. Suh, “Axiomatic design theory for systems,” *Research in Engineering Design*, vol. 10, no. 4, pp. 189–209, 1998, doi: <https://doi.org/10.1007/s001639870001>.
- [10] N. P. Suh, *Axiomatic Design: Advances and Applications*. New York, NY, USA: Oxford University Press, 2001.
- [11] A. A. Maldonado Macias, C. O. Balderrama Armendáriz, J. Pedrozo Escobedo y J. L. García Alcaraz, *Diseño axiomático: Libro de fundamentos y aplicaciones*. Logroño, España: Universidad de La Rioja, 2019, ISBN 978-84-09-10076-7. [En línea]. Disponible en: <https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/monografias/mdi29.shtml>.
- [12] O. Kulak, S. Cebi y C. Kahraman, “Applications of axiomatic design principles: A literature review,” *Expert Systems with Applications*, vol. 37, no. 9, pp. 6705–6717, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.03.061>.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

[13] M. A. Mullens, M. Arif, R. L. Armacost, T. A. Gawlik y R. L. Hoekstra, "Axiomatic based decomposition for conceptual product design," *Production and Operations Management*, vol. 14, no. 3, pp. 286–300, 2005, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2005.tb00025.x>.

[14] M. Adilah, H. Rau y K. M. Procopio, "Using an axiomatic design approach to develop a product innovation process with circular and smart design aspects," *Sustainability*, vol. 15, no. 3, art. 1933, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/su15031933>.

[15] S. Soni, P. Khanna y P. Tandon, "Extended axiomatic design and computational support to design for aesthetics," *Computer-Aided Design & Applications*, vol. 10, no. 1, pp. 1–15, 2013, doi: <https://doi.org/10.3722/cadaps.2013.1-15>.

[16] M. I. Peña-Ontiveros, C. O. Balderrama-Armendariz, A. Rossa-Sierra, A. A. Maldonado-Macias, D. Cortés Sáenz y J. L. Hernández Arellano, "Human–object interaction: Development of a usability index for product design using a hierarchical fuzzy axiomatic design," *Computation*, vol. 12, no. 6, art. 130, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/computation12060130>.

[17] M. G. Helander y L. Lin, "Axiomatic design in ergonomics and an extension of the information axiom," *Journal of Engineering Design*, vol. 13, no. 4, pp. 321–339, 2002, doi: <https://doi.org/10.1080/0954482021000050794>.

[18] E. Abela, P. Farrugia, P. Vella, G. Cassar y M. V. Gauci, "Evaluation of a multi-user requirements axiomatic design decision support tool for manufacturing process selection," *Proceedings of the Design Society*, vol. 4, pp. 483–492, 2024, doi: <https://doi.org/10.1017/pds.2024.51>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO



CIENCIAS BÁSICAS

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 3, julio-septiembre 2026
<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.03.bas.02>
e0403BAS02

CIENCIA VITAL
Revista de Divulgación Científica de la UACJ
ISSN: 2693-7944

Nociones, ideas y pensamientos en torno a las baterías de ion-litio

Michelle Hidalgo¹
Oswaldo Sánchez Dena²



¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

² Universidad Autónoma de Ciudad Juárez <https://orcid.org/0000-0002-4892-227X>. oswaldo.sanchez@uacj.mx



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

RESUMEN

Las baterías de ion-litio se han convertido en una pieza esencial de la vida moderna. Durante más de tres décadas han suministrado la energía necesaria para mantener en funcionamiento teléfonos inteligentes, computadoras portátiles, tabletas, audífonos y muchos otros dispositivos que han transformado nuestra manera de comunicarnos, estudiar, trabajar, comprar y realizar actividades cotidianas. Aunque detrás de estos equipos existen importantes avances en ingeniería y en física del estado sólido —el área que estudia las propiedades de materiales como los semiconductores—, las baterías son el corazón que les permite funcionar de manera portátil. Este artículo propone mirar más allá de la recarga cotidiana para conocer qué son las baterías de ion-litio, cuáles son sus principales componentes, cómo almacenan y liberan energía y qué riesgos pueden presentar. Comprender su funcionamiento permite valorar la ciencia y la ingeniería que hacen posible gran parte de nuestra vida digital y reconocer la importancia de desarrollar baterías cada vez más eficientes, seguras, duraderas y responsables con el entorno.

Introducción

Tal vez no lo notes, pero tu tableta electrónica o teléfono inteligente no podrían funcionar sin una batería de ion-litio (BIL) que les suministre energía de forma continua durante largos periodos. Estamos tan acostumbrados a recargar los dispositivos electrónicos que casi nunca nos detenemos a pensar qué ocurre dentro de ellos. ¿Acaso no es simple? Si la batería (o pila) se agota, conectas el dispositivo a una red eléctrica, ya sea en la casa, en la escuela o en el trabajo; incluso es posible que hayas adquirido un banco de energía (¡más BIL!).

Detente un momento y repara en lo siguiente: ¿qué tan normal es todo esto? Planteándolo de otra manera, ¿qué tan directo es comparado con, digamos, la experiencia de comer una manzana o una rebanada de sandía? Si tuviste que esperar hasta leer estas palabras para pensar en ello, no te preocupes, es normal; puede significar que estás compenetrado con la modernidad y la cotidianidad. Después de todo, mientras se bebe leche, ¿quién se atreve o tiene suficiente tiempo para pensar en la inocuidad del acto gracias a un proceso industrial basado en los hallazgos de Pasteur y Bernard?

Este artículo busca explicar, de manera sencilla, qué son las baterías de ion-litio, por qué son importantes y qué principios permiten que almacenen y entreguen energía. Para ello, partiremos de una idea cotidiana: una batería puede entenderse como una caja muy especial, diseñada para contener y controlar energía eléctrica.

Las BIL no aparecen de forma natural ni se obtienen directamente de un árbol o de un sembradío. Son dispositivos fabricados a partir de materiales específicos, diseño cuidadoso e ingeniería de alto nivel. Detrás de una batería hay conocimientos de electrostática, química, termodinámica y ciencia de materiales.

Esta complejidad puede pasar desapercibida porque usamos baterías todos los días. Sin embargo, fabricar una BIL implica controlar cómo se mueven las cargas eléctricas, cómo reaccionan los materiales y cómo se evita que el sistema falle durante los ciclos de carga y descarga.

La base teórica detrás de cualquier batería (o pila) es tan importante que todos esos conocimientos se integran en una disciplina conocida como *electroquímica* (EQ), que estudia la relación entre los procesos químicos y la electricidad. En efecto, *pila* es sinónimo de batería y ambos términos se utilizan para referirse a dispositivos electroquímicos capaces de producir energía eléctrica. La EQ no solo describe los fenómenos que ocurren dentro de una celda electroquímica, sino también la corrosión de metales y aleaciones, y representa una plataforma para realizar procesos específicos de extracción y purificación de metales. De manera general, una batería está conformada por varias celdas electroquímicas conectadas entre sí. Asimismo, como lo establecen Barreneche Vasquez y Arjona en una edición reciente de *CIENCIA VITAL*, los sensores electroquímicos pueden contribuir al diagnóstico oportuno y posterior monitoreo de



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

enfermedades renales [1]. La EQ es, pues, una rama del conocimiento fascinante y abrumadora al mismo tiempo.

Contextos históricos

En un lenguaje más formal, a una BIL también se le llama *batería secundaria*. Esto significa que es una batería de tipo *recargable*. En otras palabras, puede operar en dos modos distintos: uno en *ciclos de descarga* (cuando utilizas el dispositivo) y otro en *ciclos de carga* (cuando conectas el dispositivo a la red eléctrica). Su llegada al mercado suele asociarse con el lanzamiento realizado por Sony en 1991, un momento clave en la historia del almacenamiento electroquímico de energía. Sin embargo, este avance fue posible gracias al trabajo acumulado de muchos científicos e ingenieros durante las décadas de 1970 y 1980. Entre ellos destacan Whittingham, Goode-nough y Yoshino, reconocidos con el Premio Nobel de Química en 2019 por sus contribuciones al desarrollo de las baterías de ion-litio [2].

Por otra parte, las BIL no son el único tipo de batería recargable y el litio tampoco se usa exclusivamente en estos sistemas (Figura 1). El origen de las baterías recargables se puede trazar hasta mediados del siglo XIX, con la popular batería de plomo-ácido, desarrollada por Gaston Planté: la batería de arranque que usamos en nuestros vehículos. Poco después apareció la exitosa celda de Leclanché, compuesta por un electrodo negativo de zinc y uno positivo de óxido de manganeso combinado con carbono. Esto se escribe de otra forma como zinc-óxido de manganeso, en donde se adopta la convención de escribir primero el material con el que está hecho el electrodo negativo, seguido del material del electrodo positivo. Esta es una *batería primaria*, es decir, no recargable, y se considera la precursora de la pila seca de zinc-carbono, la cual también es primaria.

Otros tipos importantes de baterías primarias son las pilas de litio-dióxido de manganeso (Li-MnO₂) y la versión moderna de las pilas alcalinas zinc-dióxido de manganeso (Zn-MnO₂). Curiosamente, las primeras pilas alcalinas que se desarrollaron son sistemas secundarios, con base en níquel-cadmio y níquel-hierro, y fueron diseñadas independientemente por Waldemar Jungner y Thomas Edison alrededor de 1900. El término *alcalina* se relaciona con el tipo de medio químico utilizado en la celda, aunque su explicación detallada queda fuera del alcance de este texto. Por último, comúnmente se reconoce a Alessandro Volta como el inventor de una de las primeras baterías primarias, la pila voltaica. A su vez, Volta se inspiró en los hallazgos sobre la llamada *electricidad animal* de Luigi Galvani y su cónyuge.



Figura 1. Pilas hay de todos los colores y sabores. Acopiadas y donadas por la Jefatura de Sustentabilidad Ambiental Universitaria (SUSAU-UACJ) para efectuar investigaciones relacionadas con el reciclaje de BIL.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

Componentes básicos de una BIL

La Figura 2 es una representación esquemática del funcionamiento de una BIL. Se generó con inteligencia artificial (IA), tecnología capaz de producir contenido a partir de instrucciones proporcionadas por una persona, por un estudiante de posgrado inscrito en el curso de dispositivos de almacenamiento de energía electroquímica que imparte regularmente el autor de correspondencia. La esquematización es imprecisa en varios aspectos. No obstante, se utiliza aquí por dos razones principales.

Primero, con ella se evita caer en la rutina de presentar esquemas de un mismo corte, todos muy similares y disponibles en cualquier texto que trate de BIL; aquí se prefiere nutrir la imaginación del lector, exponiendo los principales componentes de una BIL y sus principios de operación, e identificando lo que sobra y lo que falta en el esquema impreciso. Segundo, permite visualizar con claridad una idea central que se desarrollará más adelante: *una BIL es una caja*.

En el esquema se pueden identificar tres de los cuatro componentes principales de una BIL: un electrodo positivo denominado *cátodo* (rectángulo pequeño de color café claro, en la esquina superior derecha); un electrodo negativo denominado *ánodo* (al otro extremo de la figura, donde solo se ve la etiqueta y debe inferirse que el componente está dentro de la estructura rectangular grande); y el *electrolito* líquido, interpuesto entre los dos anteriores. Este último es un medio que facilita el movimiento de los iones de litio, es decir, átomos de litio con carga eléctrica, de un extremo de la batería (cátodo o ánodo) al otro (ánodo o cátodo). Se trata de algún tipo de sal conductora, en este caso de cargas eléctricas positivas, con cierta concentración en un medio líquido orgánico en el que se evita el uso de agua. Falta el cuarto componente principal: un *separador*, que es un tipo de membrana o material poroso que evita el contacto directo entre el cátodo y el ánodo, al mismo tiempo que permite el paso de los iones de litio.

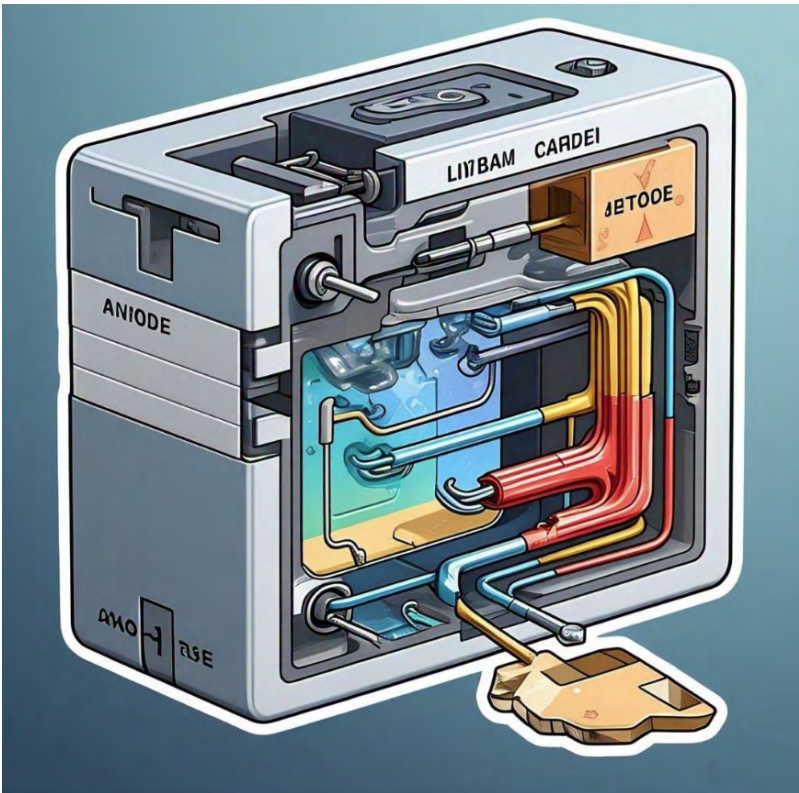


Figura 2. “¿Puedes generar una imagen del funcionamiento de una batería de iones de litio?”. Fuente: imagen generada con inteligencia artificial por A. Flores Hernández.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

De acuerdo con lo anterior, en esta ocasión la IA eligió la BIL convencional de electrolito líquido. Desde otra perspectiva, la ausencia del separador también puede interpretarse como una elección de una BIL más moderna, de electrolito sólido. De hecho, pareciera que ponderó ambas posibilidades a la vez. El electrolito puede ser líquido o sólido y, en el último caso, puede cumplir también la función del separador.

Por razones prácticas, el origen de las BIL se asocia con electrolitos líquidos, y esta modalidad ha dominado el mercado de baterías recargables por décadas. Ahora bien, recientemente y por razones de seguridad, una de las tendencias de investigación y desarrollo ha sido fabricar BIL de electrolito sólido. Hasta hace apenas unos años esta modalidad representaba principalmente una línea de investigación científica, pero actualmente los avances de la ciencia y la tecnología han impulsado su desarrollo hacia aplicaciones comerciales.

Las BIL de electrolito sólido son más complejas, requieren mayor procesamiento, rutinas de síntesis y procesos de *sinterizado*, es decir, tratamientos a alta temperatura que permiten compactar y unir partículas de un material, semejantes a los que se emplean para fabricar materiales cerámicos. Una de sus ventajas potenciales es una mayor seguridad frente a las baterías convencionales de electrolito líquido. Estas últimas, al basarse en compuestos orgánicos, son poco tolerantes a la aplicación de grandes diferencias de potencial eléctrico (voltajes altos), así como a determinadas condiciones de alta temperatura.

En tales circunstancias, el electrolito líquido es susceptible de descomponerse. Cuando esto sucede, el equilibrio termodinámico que prevalecía puede romperse y dar lugar a una serie de eventos peligrosos, como incendios y la emisión de gases o humos tóxicos que pueden contener ácido fluorhídrico. Este fenómeno se conoce formalmente como *fuga térmica* o *thermal runaway* en inglés [3].

Otras inconsistencias aparentes encontradas en el esquema de la Figura 2 son, por un lado, que la batería parece tener un interruptor de encendido y apagado y, por otro, que ni el cátodo ni el ánodo parecen cubrir toda el área transversal de la batería. En la práctica, esto último sería equivalente a no aprovechar al máximo la capacidad de la batería.

Todo son cajas

Las personas hemos usado cajas y contenedores desde tiempos muy antiguos. Las vasijas de barro, como la pieza decorativa mostrada en la Figura 3, permiten recordar esa necesidad humana de almacenar, transportar y conservar objetos, agua o alimentos. En Paquimé, hoy Casas Grandes, Chihuahua, se elaboraron piezas de este tipo con fines cotidianos, ceremoniales y decorativos [4].

La idea de contener algo para conservarlo, moverlo o aprovecharlo aparece en muchas tecnologías. Una casa contiene personas y actividades; un automóvil contiene pasajeros y combustible; un termo conserva una bebida por cierto tiempo. En ese sentido, una batería también puede pensarse como una caja, pero una caja diseñada para almacenar y liberar energía bajo condiciones controladas.

Desde la física, esta comparación puede relacionarse con la forma en que las baterías controlan cargas y campos eléctricos. No es necesario entrar en todos los detalles matemáticos de las ecuaciones de Maxwell para apreciar la idea central: una batería organiza materiales y cargas de tal manera que permite dirigir el flujo de energía hacia un circuito externo.

Así, la batería no es solo un recipiente cerrado. Es un sistema activo: contiene materiales que reaccionan, separa componentes que no deben tocarse directamente y ofrece un camino para que la energía se use cuando se necesita.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO



Figura 3. Pieza decorativa comprada en la tienda de *souvenirs* del Museo de las Culturas del Norte, en Paquimé, Chihuahua, México.

La comparación con una caja ayuda a imaginar este proceso. Así como un termo conserva una bebida durante cierto tiempo, una batería conserva energía química que puede convertirse en electricidad. La diferencia es que, en una BIL, esa función depende de materiales cuidadosamente elegidos, interfaces internas y reacciones electroquímicas controladas.

Conclusiones

Nos gustaría que te quedaras con una idea central: una batería de ion-litio es mucho más que una pieza dentro de un celular o una computadora. Es un dispositivo electroquímico que almacena energía, controla el movimiento de iones y electrones, y permite alimentar tecnologías que usamos todos los días. Sus componentes básicos —cátodo, ánodo, electrolito y separador— trabajan en conjunto para hacer posible la carga y descarga. Cuando alguno de estos elementos falla, también pueden aparecer riesgos importantes, como la fuga térmica. Por eso, estudiar sus materiales y mejorar su diseño es clave para fabricar baterías más eficientes, duraderas y seguras.

La analogía de la caja permite resumir el mensaje: una BIL es una caja sofisticada para almacenar y administrar energía. Fabricarla requiere recursos naturales, procesamiento de materiales, conocimiento científico, diseño e ingeniería. A medida que la demanda de baterías crece en la electrónica portátil, la electromovilidad y el almacenamiento de energías renovables, también aumenta la necesidad de comprender cómo se producen, cómo se usan y cómo pueden reciclarse.

En México, el interés por el litio y por el desarrollo de tecnologías energéticas abre oportunidades científicas, industriales y sociales. Construir una cadena de valor relacionada con baterías no depende solo de extraer un recurso, sino de generar conocimiento, desarrollar materiales, diseñar procesos y proponer soluciones responsables.

En una edición futura de *CIENCIA VITAL*, nos gustaría profundizar en los eslabones de esa cadena desde la ciencia de los materiales y compartir algunos resultados obtenidos en nuestro grupo de investigación. Por ahora, la invitación es sencilla: mirar las baterías con otros ojos.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

Detrás de cada recarga cotidiana hay ciencia, ingeniería y una larga historia de ideas que siguen transformando la manera en que usamos la energía.

Referencias

- [1] J. S. Barreneche y N. Arjona, “Electroquímica al servicio de la salud: sensores que detectan albúmina en la lucha contra la enfermedad renal crónica,” *Ciencia Vital*, vol. 3, no. 4, pp. 1–5, 2026. doi: <https://doi.org/10.20983/cienciavital.2025.04.apl.01e0304APL01>.
- [2] Nobel Prize Outreach, “The Nobel Prize in Chemistry 2019,” *NobelPrize.org*. [En línea]. Disponible: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/popular-information/>. [Consultado: 9-feb-2026].
- [3] Q. Wang *et al.*, “Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery,” *Journal of Power Sources*, vol. 208, pp. 210–224, 2012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.02.038>.
- [4] E. Vela, “11. Vasija efigie. Paquimé, Chihuahua,” *Arqueología Mexicana*, edición especial, no. 96, pp. 32–33, abr. 2021.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO



CIENCIAS BÁSICAS

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 3, julio-septiembre 2026
<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.03.bas.03>
e0403BAS03

CIENCIA VITAL
Revista de Divulgación Científica de la UACJ
ISSN: 2603-0944

Geología médica frente a los retos globales:

ciencia al
servicio de
la sociedad

Abraham Gilberto Méndez Salas¹
Alejandro Villalobos Aragón²
Luis Carlos Hinojos Gallardo³
Vanessa Verónica Espejel García⁴
Daphne Espejel García⁵
Cynthia Deisy Gómez Esparza⁶



- 1 Universidad Autónoma de Chihuahua <https://orcid.org/0009-0001-7045-3617>
- 2 Universidad Autónoma de Chihuahua <https://orcid.org/0000-0001-7909-078X> avillalobos@uach.mx
- 3 Universidad Autónoma de Chihuahua <https://orcid.org/0009-0000-4229-5140>
- 4 Universidad Autónoma de Chihuahua <https://orcid.org/0000-0002-0486-8726>
- 5 Universidad Autónoma de Chihuahua <https://orcid.org/0000-0002-8284-1705>
- 6 Universidad Autónoma de Chihuahua <https://orcid.org/0000-0002-4351-7777>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

RESUMEN

La geología médica estudia cómo los materiales y procesos de la Tierra influyen en la salud de las personas y otros seres vivos. Para ello, reúne conocimientos de geología, medicina y salud pública, y utiliza herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permiten analizar datos en mapas, y los sensores remotos, que obtienen información del territorio mediante satélites u otros dispositivos. Estas herramientas ayudan a relacionar las condiciones ambientales y sociales con los riesgos para la salud. Entre los principales desafíos destacan la exposición al arsénico presente en aguas subterráneas, que puede causar cáncer, y a concentraciones elevadas de fluoruros, que pueden provocar alteraciones en dientes y huesos. A través del análisis de mapas, agua, suelos y minerales, esta disciplina busca comprender cómo se originan las enfermedades relacionadas con el ambiente y quiénes están más expuestos. Sus resultados contribuyen a diseñar políticas públicas, prevenir enfermedades y reducir riesgos ambientales, especialmente en comunidades vulnerables, para mejorar su calidad de vida.

Introducción

Seguramente la primera reacción del lector al ver el término “geología médica” sea: ¿qué diablos es eso? O incluso: ¡ya no saben qué inventar! Y hasta cierto punto tiene razón. A primera vista, pareciera que la geología y la medicina tienen poco que ver entre sí. Si bien la geología médica es una disciplina relativamente joven, que surge en la década de 1990, la relación entre la Tierra y nuestra salud es tan antigua como la humanidad misma.

Esta nueva disciplina surge de la necesidad de entender algo que durante mucho tiempo se estudió por separado: cómo los materiales de la Tierra (el agua, el suelo, las rocas e incluso ciertos elementos químicos) pueden influir en nuestra salud, para bien o para mal. En este artículo se explicarán su nacimiento, evolución y carácter multidisciplinario, así como la manera en que puede ayudar a proponer soluciones a problemas nuevos y viejos que, a pesar de los esfuerzos realizados durante años, todavía no se han resuelto del todo.

Al principio, la geología médica se enfocó en estudiar materiales e identificar problemas de contaminación derivados de factores geológicos, así como en evaluar los posibles efectos asociados en la salud de los organismos. Posteriormente, evolucionó hasta convertirse en una rama de la ciencia (Figura 1) que, como su origen indica, es necesariamente multidisciplinaria y abierta a contribuciones de otras ciencias y campos de estudio [1]. Esta diversidad le permite abordar los problemas de salud desde diferentes ópticas y buscar respuestas que difícilmente podrían encontrarse en una sola área del conocimiento. Por ejemplo, un geólogo puede detectar arsénico en un acuífero, es decir, una formación geológica que almacena y permite el movimiento del agua subterránea; un químico puede determinar su concentración, un médico estudiar sus efectos y un especialista en salud pública evaluar el riesgo para la población.



Figura 1. La geología médica es, desde su origen, una disciplina multidisciplinaria. Imagen propia.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

En su sentido más amplio, la geología médica estudia cómo los componentes de la Tierra influyen en la salud de los organismos que la habitan. Esto puede incluir tanto la exposición excesiva o deficiente a ciertos elementos y minerales como la inhalación de polvo, partículas ambientales y emisiones volcánicas, la presencia de residuos minerales naturales e industriales, y la exposición a materiales radiactivos, microbios y patógenos, es decir, organismos o agentes capaces de causar enfermedades [2], que puedan representar un riesgo para la salud.

El enfoque que esta disciplina busca desarrollar consiste en integrar a los actores sociales, políticos y científicos, con el fin de que interactúen para comprender los efectos benéficos, adversos o toxicológicos, es decir, relacionados con sustancias que pueden causar daño, que ocasiona el medio geológico (por ejemplo, el viento, el agua, los suelos, las rocas y los minerales). Esto permite generar posibles decisiones correctivas, encontrar formas de reducir los riesgos y mejorar la convivencia con la naturaleza [2]. Para lograrlo, también es necesario considerar factores sociales que durante mucho tiempo quedaron fuera de este tipo de estudios, como el nivel educativo, los ingresos, el acceso a los servicios de salud y la movilidad de las poblaciones. En otras palabras, no basta con saber qué hay en el ambiente: también necesitamos saber quiénes están expuestos, cómo y durante cuánto tiempo han estado expuestos, y qué posibilidades tienen de protegerse.

A lo largo de la historia, algunas de las principales causas de mortalidad en la humanidad han sido el hambre, las guerras y, sobre todo, las enfermedades [3]–[5]. La explosión demográfica y el crecimiento de las ciudades con infraestructuras insalubres facilitaron la propagación de enfermedades e infecciones [6]. Sin embargo, nuestros ancestros también tuvieron que enfrentarse a otras amenazas ambientales. Desde hace mucho tiempo, nuestros antepasados ya habían experimentado y eran conscientes de los peligros asociados a los riesgos naturales, especialmente a los fenómenos geológicos (por ejemplo, volcanes, sismos y tsunamis), así como de la necesidad de consumir agua de fuentes naturales seguras [7]. Desde hace unos dos millones de años, nuestros ancestros utilizaban minerales para aliviar el malestar estomacal; posiblemente buscaban contrarrestar los efectos del consumo de alimentos en mal estado [8].

Es ampliamente conocido que los minerales desempeñan un papel importante en el metabolismo, es decir, el conjunto de procesos químicos que permiten al organismo obtener y utilizar energía, y en las funciones fisiológicas de los animales y de los seres humanos. Elementos como el calcio, el hierro, el magnesio, el potasio, el sodio, el zinc y el cobre son esenciales, y su ausencia acarrea daños y perjuicios para la salud. Sin embargo, que un elemento sea necesario no significa que “más sea mejor”: una cantidad insuficiente puede provocar problemas de salud, mientras que una concentración excesiva también puede resultar perjudicial e incluso tóxica [9].

Hace siglos, el médico y alquimista Paracelso expresó esta idea de una manera que sigue siendo vigente: “La dosis hace el veneno” (*dosis sola facit venenum*) [10]. Después de todo, por algo los perfumes y los venenos vienen en frascos pequeños. Como se puede observar (Figura 2), existe un intervalo de concentración en el que un elemento puede resultar beneficioso para el organismo. Por debajo de ese rango puede producirse una deficiencia y, por encima, una exposición excesiva, que puede convertirse en un riesgo para la salud.

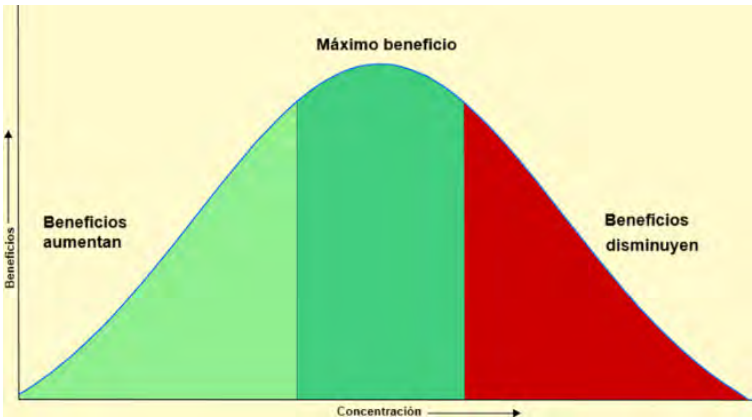


Figura 2. Relación entre el beneficio y la concentración de un elemento [11].



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

Grandes avances como las vacunas, los sueros, los insecticidas y, sobre todo, los antibióticos revolucionaron la salud pública e hicieron posible la disminución de los fallecimientos por infecciones y enfermedades asociadas [12], [13]. No obstante, en las últimas décadas, los cambios en los patrones de salud y el aumento de la esperanza de vida han modificado las principales causas de mortalidad. En muchas regiones, las enfermedades infecciosas han cedido el protagonismo a las no transmisibles, como las afecciones cardiovasculares (infartos), el cáncer, la diabetes, las enfermedades cerebrovasculares y las respiratorias crónicas, que a menudo pueden prevenirse mediante cambios en el estilo de vida. Aunque muchas de estas enfermedades están relacionadas con factores como la alimentación, la actividad física y otros hábitos de vida, hoy sabemos que la salud también está influida por el ambiente en el que vivimos. La calidad del agua que bebemos, el aire que respiramos y los elementos presentes en el suelo y en las rocas pueden formar parte de esta compleja relación entre nuestro entorno y nuestra salud.

En Londres, a mediados del siglo XIX, John Snow, médico británico (ojo, nada que ver con el personaje de Game of Thrones) y considerado uno de los pioneros de la epidemiología, es decir, el estudio de la distribución y las causas de las enfermedades en las poblaciones, plasmó en un mapa la información recopilada durante un brote de cólera. Gracias a esa representación visual, identificó una fuente de contagio y contribuyó a frenar la expansión de la enfermedad. Aunque en ese momento no existían los Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramientas informáticas que permiten analizar y representar datos relacionados con lugares específicos, como los conocemos hoy, su trabajo se considera uno de sus antecedentes más importantes en el ámbito de la salud pública [14].

Al mismo tiempo, este proceso de urbanización ha traído consigo nuevos problemas de salud ambiental, entre los cuales se pueden mencionar la exposición a niveles tóxicos de elementos traza, sustancias presentes en cantidades muy pequeñas, liberados por fuentes naturales, y la contaminación ambiental asociada a actividades humanas o a procesos geológicos. Millones de personas en el mundo padecen las consecuencias de la exposición a sustancias tóxicas como arsénico, plomo, flúor, mercurio, selenio, cromo y uranio, entre otras, presentes en el agua, el suelo, el aire o los alimentos, según las características de cada región [15].

Nacimiento y evolución

Rara vez se puede definir con exactitud el nacimiento temporal y geográfico de una disciplina científica, pero la geología médica podría ser una excepción. Sus cimientos se establecieron en la década de 1980 por el profesor Zheng Baoshan, quien identificó numerosos casos en la provincia china de Guizhou relacionados con la intoxicación por arsénico, la exposición al flúor, la selenosis, una enfermedad causada por el exceso de selenio, y otras enfermedades. Estos efectos estaban vinculados tanto a la exposición a agentes potencialmente tóxicos como a la carencia de nutrientes esenciales en la dieta de las comunidades afectadas [16].

A partir de entonces, la geología médica amplió su campo de estudio. Ya no se trata únicamente de identificar sustancias potencialmente perjudiciales, sino también de comprender cómo los elementos y minerales presentes en el ambiente pueden beneficiar o perjudicar la salud. El papel científico que suele desempeñar es relevante para identificar, prevenir y mitigar los problemas de salud vinculados a factores ambientales, geológicos y sociales, y puede contribuir a la política social como una herramienta actual, vigente y estratégica para el beneficio de la sociedad y del medio ambiente.

En sus primeras aproximaciones, una parte importante de su trabajo consistía en conocer de dónde provienen determinados elementos, dónde se encuentran, cómo se distribuyen y cómo pueden llegar a las personas. Entre los elementos que pueden representar un riesgo se encuentran el arsénico, el fluoruro, el selenio, el plomo, el cromo y el uranio, entre otros. De estos elementos químicos, deben destacarse los casos del arsénico y del flúor.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

El arsénico es un elemento químico cuyas formas inorgánicas están clasificadas por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) como cancerígenas para los seres humanos. La exposición prolongada se ha asociado especialmente con cáncer de piel, pulmón y vejiga, además de otros posibles efectos sobre la salud [17]. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) también reconoce sus riesgos cancerígenos.

La exposición humana al arsénico se produce por ingestión e inhalación, principalmente al beber agua contaminada con arsénico [18]. Los casos más frecuentes de toxicidad por arsénico se han reportado en aguas subterráneas contaminadas en llanuras aluviales, formadas por sedimentos depositados por los ríos, y regiones deltaicas en Bangladesh y Bengala Occidental, India, Nepal, Taiwán, Camboya, Laos, Vietnam, el norte de China, Hungría y Rumania. En estas regiones se han documentado concentraciones de arsénico que pueden superar ampliamente los valores recomendados para el agua potable [11]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la EPA establecen como referencia un máximo de 10 microgramos por litro ($\mu\text{g/L}$), equivalentes a 0.01 miligramos por litro (mg/L) (Figura 3).

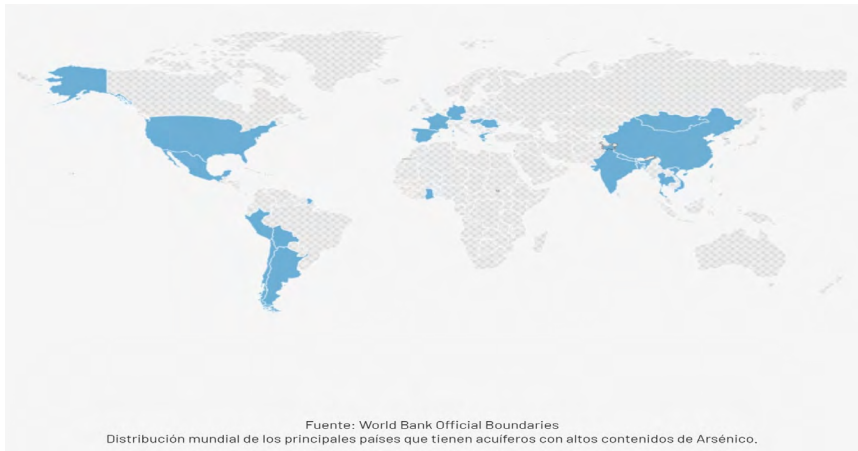


Figura 3. Países con acuíferos de alto contenido de arsénico. Figura propia basada en datos de [11], [19].

Además, las cuencas interiores de las regiones áridas y semiáridas del mundo (Argentina, Chile, México, Nicaragua, España y el suroeste de Estados Unidos) también son conocidas por contener niveles elevados de arsénico en el agua subterránea [11]. Del mismo modo, se han medido valores elevados en regiones volcánicas de Nueva Zelanda, Chile, Ecuador y Japón [11]. Por todo lo anterior, se han realizado investigaciones sobre acuíferos naturalmente enriquecidos en arsénico y fluoruros, cuyos niveles superan los valores máximos permisibles en el agua destinada al consumo humano.

Por otro lado, el flúor es un elemento que, al ingerirse, presenta afinidad química con la hidroxiapatita, un mineral de fosfato de calcio que constituye una parte importante del esmalte dental y de los huesos [20]. Cuando la exposición a fluoruros es excesiva y prolongada, puede causar fluorosis ósea, una enfermedad que altera la estructura y resistencia de los huesos. Asimismo, puede afectar el esmalte dental y provocar fluorosis dental [21]. Estas enfermedades o lesiones varían según las condiciones en que se presenten y la concentración del elemento (Figura 4).



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO



Figura 4. Ejemplos de alteraciones en dientes y huesos relacionadas con la exposición excesiva a fluoruros (fluorosis). Fuentes: Dental Navarro y Fluoride Action Network .

Según estimaciones publicadas, alrededor de 200 millones de personas en 25 países de todo el mundo están afectadas por la fluorosis [22]. China [21] e India [23], países con algunas de las mayores poblaciones del mundo, se encuentran entre los más afectados según los datos sobre la población expuesta a este contaminante. En la Figura 5 se muestran los países con las mayores concentraciones de fluoruros en el agua de consumo.

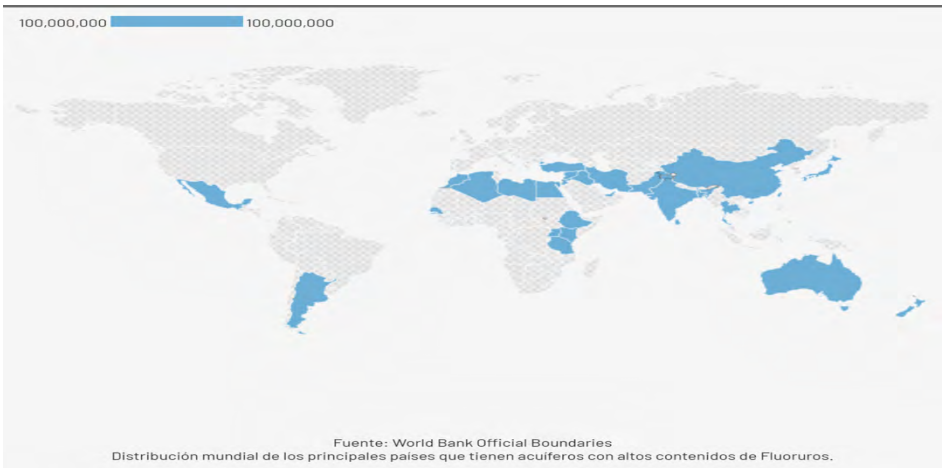


Figura 5. Países con acuíferos con altos niveles de fluoruros [24].

México también está expuesto a esta problemática; al revisar la bibliografía disponible, se observa que se han realizado trabajos en la zona norte del país (Chihuahua, Durango, Coahuila, San Luis Potosí, Zacatecas y Sonora) [25], [26]. Estas investigaciones han permitido identificar zonas con niveles elevados de arsénico y fluoruros, así como evaluar sus posibles efectos sobre la salud de las personas y los animales. El problema no se limita al ámbito sanitario: la presencia de estos elementos también puede acarrear consecuencias sociales y económicas para las comunidades afectadas.

En el estado de Chihuahua, se han detectado acuíferos con niveles muy por encima de los valores máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-2021, que establece los límites de calidad del agua para uso y consumo humano. La norma contempla un límite de 0.025 mg/L para arsénico y de 1.5 mg/L para fluoruros, con una reducción gradual a 0.01 mg/L y 1.0 mg/L, respectivamente, según el tamaño de la localidad y los plazos establecidos. Los acuíferos donde más se observa este comportamiento se ubican en las partes sureste y central del estado [26]–[28]. Estos casos muestran por qué conocer la geología de una región puede ser fundamental para comprender los problemas de calidad del agua y, en consecuencia, los riesgos para la salud de quienes dependen de ella.

Uno de los grandes retos de la geología médica es relacionar lo que ocurre en el ambiente con sus posibles efectos sobre la salud. Esto no siempre es sencillo. Los materiales geológicos

varían mucho de un lugar a otro y, además, muchas enfermedades relacionadas con factores ambientales no aparecen de inmediato tras la exposición. En algunos casos pueden pasar años, o incluso décadas, entre el momento en que una persona entra en contacto con un agente de riesgo y la aparición de los primeros síntomas [29].

Un ejemplo es la podoconiosis, también conocida como elefantiasis no filarial. Esta enfermedad crónica puede provocar una inflamación severa de los pies y las piernas y está relacionada con la exposición prolongada, generalmente durante muchos años, a determinados tipos de suelo al caminar descalzo [30]. Otro ejemplo es el mesotelioma maligno, un tipo de cáncer asociado a la exposición al asbesto, un grupo de minerales fibrosos que pueden causar enfermedades al inhalarse sus fibras (Figura 6). En este caso, la enfermedad puede aparecer muchos años después de la exposición inicial, lo que dificulta establecer, a simple vista, la relación entre el agente ambiental y el problema de salud [31], [32]. Estos ejemplos muestran que estudiar la relación entre el ambiente y la salud requiere algo más que identificar una sustancia potencialmente peligrosa: también es necesario conocer cuánto tiempo ha estado presente, cómo se produce la exposición y quiénes están expuestos.

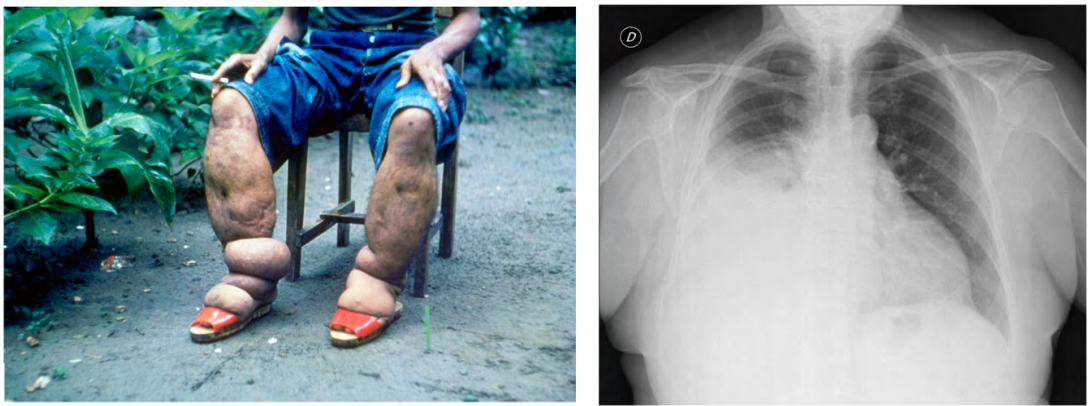


Figura 6. Ejemplos de enfermedades relacionadas con la exposición prolongada a factores ambientales: a la izquierda, podoconiosis; a la derecha, mesotelioma maligno.
Fuentes: Wikipedia y Medicina Paliativa, Elsevier .

Por todo lo anterior, estudiar una enfermedad relacionada con el ambiente requiere conocer no solo qué elementos están presentes en un determinado lugar, sino también cuándo y dónde ocurrió la exposición. Saber dónde vive actualmente una persona no siempre basta. A lo largo de su vida, una persona puede haber cambiado de ciudad, trabajado en diferentes lugares, modificado sus hábitos o haberse expuesto a ambientes distintos, y cualquiera de estas situaciones puede ser relevante para comprender el origen de una enfermedad [31].

Es precisamente en este tipo de problemas donde la naturaleza multidisciplinaria de la geología médica adquiere todo su sentido. Geólogos, médicos, químicos, biólogos, epidemiólogos, especialistas en salud pública, científicos de datos y profesionales de las ciencias sociales pueden aportar diferentes piezas de un mismo rompecabezas: comprender cómo el medio ambiente influye en nuestra salud.

Conclusiones

La geología médica nació de una pregunta que, aunque parezca sencilla, tiene enormes implicaciones: ¿cómo puede nuestro planeta influir en nuestra salud? A lo largo de su evolución, esta disciplina ha demostrado que el agua que bebemos, el suelo que pisamos, el aire que respiramos y los minerales y elementos presentes en nuestro entorno pueden beneficiar nuestra salud o convertirse en un riesgo.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

Su principal fortaleza es precisamente su carácter multidisciplinario. Geólogos, médicos, químicos, biólogos, epidemiólogos, especialistas en salud pública, especialistas en gestión territorial y científicos sociales pueden aportar diferentes piezas para comprender un mismo problema. Esta colaboración permite identificar fuentes de exposición, evaluar sus posibles efectos sobre la salud y, sobre todo, buscar alternativas para prevenir o reducir los riesgos. Los casos de exposición al arsénico y al fluoruro son ejemplos claros de la importancia de este enfoque. En muchas regiones del mundo, estos elementos están presentes de forma natural en el agua y pueden convertirse en un problema de salud cuando sus concentraciones son demasiado elevadas. Comprender de dónde provienen, cómo llegan a las personas y quiénes están más expuestos permite diseñar mejores estrategias de prevención y políticas públicas.

Al final, la geología médica nos recuerda algo que con frecuencia olvidamos: nuestra salud no depende únicamente de lo que ocurre dentro de nuestro cuerpo. También está relacionada con el lugar donde vivimos y con el ambiente que nos rodea. Entender la Tierra también puede ayudarnos a comprender nuestra salud.

Referencias

- [1] F. E. Giménez, Introducción a la Geología Médica, 1.ª ed. Universidad de Alcalá de Henares, 2018.
- [2] J. A. Centeno, E. Giménez Forcada y P. Pena Búa, “La Geología Médica: una disciplina emergente”, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.medicalgeology.org/>
- [3] K. Godde, S. N. DeWitte, J. Beaumont, B. S. Walter, R. Redfern y J. J. Bekvalac, “Selective mortality during famine and plague events in medieval London”, Scientific Reports, vol. 15, núm. 1, art. 27133, jul. 2025, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13198-7>.
- [4] A. B. Appleby, “Epidemics and Famine in the Little Ice Age”, en Climate and History. Princeton University Press, 1981, pp. 63–84, doi: <https://doi.org/10.1515/9781400854103.63>.
- [5] P. Laslett, The World We Have Lost. Routledge, 2015, doi: <https://doi.org/10.4324/9780203563335>.
- [6] M. Komatina, Medical Geology: Effects of Geological Environments on Human Health. Elsevier, 2004. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780444516152/medical-geology>.
- [7] M. A. Armienta, R. B. Finkelman y H. O. Rubio-Arias, “Geología Médica: su relevancia para México”, TECNOCENCIA Chihuahua, vol. VII, núm. 3, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia>.
- [8] P. W. Abrahams, “Geophagy and the involuntary ingestion of soil”, en Essentials of Medical Geology, O. Selinus, B. Alloway, J. A. Centeno, R. B. Finkelman, B. Fuge, U. Lindh y P. Smedley, Eds. Elsevier, 2005, pp. 435–458. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780126363418/essentials-of-medical-geology>.
- [9] R. B. Finkelman, “Medical Geology”, 2001. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/265199727>.
- [10] S. Esteban-Santos, “Paracelso el médico, Paracelso el alquimista”, Apuntes de la Real Sociedad Española de Química, pp. 53–62, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.rseq.org/>.
- [11] S. E. Hasan, “Medical Geology”, en Encyclopedia of Geology, 2.ª ed., vol. 6. Elsevier, 2020, pp. 684–702, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12523-0>.
- [12] M. Humphreys, “Plagues upon the Earth: Disease and the Course of Human History. John Mokyr, series ed. The Princeton Economic History of the Western World”, Evolution, Medicine, and Public Health, vol. 10, núm. 1, pp. 177–178, ene. 2022, doi: <https://doi.org/10.1093/emph/eoac014>.
- [13] U. Schlipköter y A. Flahault, “Communicable Diseases: Achievements and Challenges for



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

- Public Health”, Public Health Reviews, vol. 32, núm. 1, pp. 90–119, jun. 2010, doi: <https://doi.org/10.1007/BF03391594> .
- [14] J. Cerda y G. Valdivia C., “John Snow, la epidemia de cólera y el nacimiento de la epidemiología moderna”, Revista Chilena de Infectología, vol. 24, núm. 4, pp. 331–334, 2007. [En línea]. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-10182007000400014 .
- [15] A. Mukherjee et al., “Arsenic and other geogenic contaminants in global groundwater”, Nature Reviews Earth & Environment, vol. 5, núm. 4, pp. 312–328, mar. 2024, doi: <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00519-z> .
- [16] R. B. Finkelman y J. A. Centeno, “Guizhou Province, China: the birthplace of modern Medical Geology”, Acta Geochimica, vol. 39, núm. 1, pp. 155–159, feb. 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s11631-019-00380-8> .
- [17] L. E. Duarte et al., “Mortality from cancer, arsenic, and nitrates in drinking water and cropland in Argentina”, Revista Panamericana de Salud Pública, vol. 46, 2022, doi: <https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.129> .
- [18] I. Palma-Lara et al., “Arsenic exposure: A public health problem leading to several cancers”, Regulatory Toxicology and Pharmacology, vol. 110, art. 104539, feb. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.104539> .
- [19] J. Bundschuh et al., “One century of arsenic exposure in Latin America: A review of history and occurrence from 14 countries”, Science of the Total Environment, vol. 429, pp. 2–35, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.024> .
- [20] S. V. Dorozhkin y M. Eppe, “Biological and Medical Significance of Calcium Phosphates”, Angewandte Chemie International Edition, vol. 41, núm. 17, pp. 3130–3146, sep. 2002, doi: [https://doi.org/10.1002/1521-3773\(20020902\)41:17%3C3130::AID-ANIE3130%3E3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/1521-3773(20020902)41:17%3C3130::AID-ANIE3130%3E3.0.CO;2-1) .
- [21] L. Chaoke, J. Rongdi y C. Shouren, “Epidemiological analysis of endemic fluorosis in China”, 1997, doi: <https://doi.org/10.1080/10590509709373493> .
- [22] S. Ayoob y A. K. Gupta, “Fluoride in drinking water: A review on the status and stress effects”, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, nov. 2006, doi: <https://doi.org/10.1080/10643380600678112> .
- [23] N. Arveti, M. R. S. Sarma, J. A. Aitkenhead-Peterson y K. Sunil, “Fluoride incidence in groundwater: A case study from Talupula, Andhra Pradesh, India”, Environmental Monitoring and Assessment, vol. 172, núms. 1–4, pp. 427–443, ene. 2011, doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1345-3> .
- [24] M. Kumar, R. Goswami, A. K. Patel, M. Srivastava y N. Das, “Scenario, perspectives and mechanism of arsenic and fluoride co-occurrence in the groundwater: A review”, Chemosphere, vol. 249, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126126> .
- [25] J. Bundschuh, A. P. Carrera y M. Litter, IBEROARSEN: Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana. 2008. [En línea]. Disponible en: <https://www.cytel.org/> .
- [26] S. Vega Gleason, “Riesgo sanitario ambiental por la presencia de arsénico y fluoruros en los acuíferos de México”, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/> .
- [27] F. Arreguín Cortés, R. Chávez Guillén, P. Soto Navarro y P. Smedley, “Una revisión de la presencia de arsénico en el agua subterránea en México”, Tlaloc, vol. 45, pp. 1–11, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.amh.org.mx/> .
- [28] M. Gutiérrez, M. S. Espino Valdés, M. T. Alarcón Herrera, A. Pinales Munguía y H. Silva Hidalgo, “Arsénico y flúor en agua subterránea de Chihuahua: su origen, enriquecimiento, y tratamientos posibles”, TECNOCIENCIA Chihuahua, vol. 15, núm. 2, pp. 95–108, sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i2.828> .
- [29] N. A. Wardrop y J. S. Le Blond, “Assessing correlations between geological hazards and health outcomes: Addressing complexity in medical geology”, Environment



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

International, nov. 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.07.016> .

[30] G. Davey, E. GebreHanna, A. Adeyemo, C. Rotimi, M. Newport y K. Desta, “Podoconiosis: a tropical model for gene-environment interactions?”, Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, vol. 101, núm. 1, pp. 91–96, ene. 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2006.05.002> .

[31] C. A. Brodtkin, J. R. Balmes, C. A. Redlich y M. R. Cullen, “Residential proximity to naturally occurring asbestos: health risk or ecologic fallacy?”, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, vol. 173, p. 573, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://www.atsjournals.org/> .

[32] B. P. Lanphear y C. R. Buncher, “Latent period for malignant mesothelioma of occupational origin”, Journal of Occupational Medicine, vol. 34, pp. 718–721, 1992. [En línea]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> .



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO



CIENCIAS DE LA SALUD
Ciencia Vital, Vol. 4, No. 3, julio-septiembre 2026
<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.03.sal.01>
e0403sal01

CIENCIA VITAL
Revista de Divulgación Científica de la UACJ
ISSN: 2615-7944

¿Sabías que un antibiótico tarda años en llegar a las farmacias?

Descubre cómo se crea uno

Fernando Juárez Vallejo¹
José Antonio Cervantes Chávez²
Héctor Paul Reyes Pool³



- 1 Universidad Autónoma de Querétaro
<https://orcid.org/0009-0009-2717-4311>
fjuarez05@alumnos.uaq.mx
- 2 Universidad Autónoma de Querétaro
<https://orcid.org/0000-0002-6255-1639>
- 3 Universidad Autónoma de Querétaro
<https://orcid.org/0000-0002-6742-3839>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

RESUMEN

Los antibióticos son esenciales para tratar infecciones y sostener gran parte de la medicina moderna, pero su uso inadecuado ha favorecido la aparición de bacterias resistentes, conocidas como “superbacterias”. Para enfrentarlas, la ciencia ha buscado nuevos compuestos en microorganismos de la naturaleza y también ha modificado antibióticos existentes mediante semisíntesis, una estrategia que permite mejorar sus propiedades y superar algunos mecanismos de defensa bacteriana. Entre las amenazas más importantes se encuentran las bacterias del grupo ESKAPE, capaces de resistir múltiples tratamientos. Sin embargo, desarrollar un nuevo antibiótico puede tardar entre 10 y 15 años y requerir inversiones muy elevadas, lo que limita el interés comercial. Frente a este desafío, la inteligencia artificial se ha convertido en una herramienta prometedora, ya que permite analizar millones de moléculas en poco tiempo y acelerar la identificación de candidatos, como ocurrió con la halicina. Comprender cómo se descubren, diseñan y protegen estos medicamentos es clave para preservar su eficacia y enfrentar la resistencia bacteriana.

Introducción

Imagine un mundo donde un simple corte al afeitarse, un rasguño jugando en el jardín o una infección de garganta común pudieran ser sentencias de muerte. Ese mundo no es una fantasía de ciencia ficción; fue la realidad de la humanidad durante milenios, hasta hace menos de un siglo. Vivimos en una burbuja de seguridad sanitaria gracias al descubrimiento de los antibióticos, una piedra angular de la medicina moderna. Sin ellos, las cirugías complejas, los trasplantes de órganos y la quimioterapia contra el cáncer serían mucho más peligrosos debido al riesgo de contraer una infección.

Sin embargo, esta seguridad es frágil. Estamos inmersos en una “carrera armamentista” invisible y evolutiva. El uso masivo e indiscriminado de estos fármacos ha favorecido la selección de bacterias resistentes, capaces de sobrevivir a tratamientos que antes las eliminaban, y ha contribuido a la aparición de “superbacterias” resistentes a múltiples antibióticos. Ante esta amenaza, la ciencia debe responder a una pregunta urgente: ¿cómo se desarrollan nuevos antibióticos?

El legado de la casualidad y la plataforma Waksman

Para entender cómo desarrollamos antibióticos hoy, debemos mirar al pasado. La historia nos cuenta que Alexander Fleming descubrió la penicilina en 1928 por un descuido: un hongo (*Penicillium notatum*) contaminó sus placas de cultivo e inhibió el crecimiento de las bacterias *Staphylococcus* que él estudiaba. Este descubrimiento trascendió cuando pasó de ser una simple curiosidad de laboratorio y se convirtió en un medicamento aplicable a la población para controlar infecciones.

Históricamente, la gran mayoría de nuestros antibióticos no fueron “inventados”, sino “descubiertos”. Sin notarlo, el suelo bajo nuestros pies es un campo de batalla químico. Durante millones de años, las bacterias y los hongos han competido por nutrientes, desarrollando sustancias químicas para eliminar a la competencia.

Sin embargo, en la naturaleza, estos microorganismos raramente viven solos; al contrario, forman comunidades llamadas “consorcios microbianos”, donde la cooperación y la competencia química ocurren simultáneamente. Muchas veces, una bacteria no produce un antibiótico a menos que se sienta amenazada por la presencia de otra especie vecina. Este fenómeno ha llevado a la ciencia moderna a estudiar no solo microbios aislados, sino también estas interacciones grupales para “despertar” genes que normalmente están inactivos en condiciones óptimas de laboratorio.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

Este “despertar” es un desafío técnico considerable; los científicos pasan años experimentando con diferentes combinaciones de estrés y nutrientes —el equivalente biológico a buscar la frecuencia exacta de una radio— para que la bacteria finalmente revele su secreto químico. Este cuello de botella inicial explica por qué, de miles de muestras de suelo, solo una fracción ínfima llega a la siguiente fase.

El método clásico para encontrar estas sustancias se conoce como la plataforma Waksman, en honor a Selman Waksman, quien lideró investigaciones que condujeron al descubrimiento de la estreptomicina y contribuyó a popularizar el término “antibiótico”. El proceso, aunque laborioso, es elegante en su lógica:

Se recogen muestras de suelo de los lugares más diversos —desde un bosque lluvioso hasta las profundidades de las fosas oceánicas— y se cultivan los microorganismos presentes en placas de Petri, recipientes de laboratorio utilizados para cultivar microbios (Figura 1).

Se enfrentan estos microorganismos desconocidos contra bacterias patógenas, es decir, capaces de causar enfermedades. Si se observa un “halo de inhibición”, una zona transparente donde el patógeno no crece alrededor del microbio de prueba, sabemos que allí puede haber una sustancia con actividad antibiótica [1].

El reto químico consiste en separar la molécula o las moléculas activas de entre miles de otros compuestos que produce la bacteria.

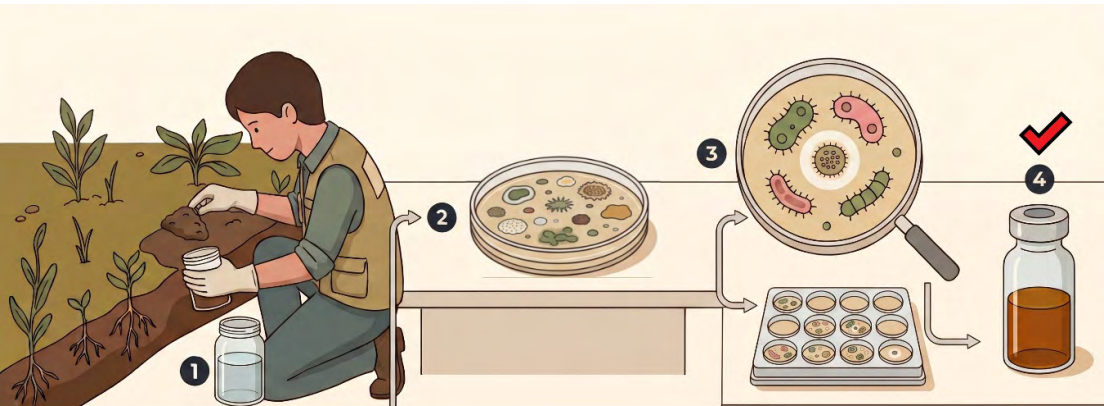


Figura 1. Paso a paso de la plataforma Waksman: 1) muestreo de suelo, 2) aislamiento de bacterias, 3) pruebas de actividad contra patógenos mediante halos de inhibición y 4) obtención del compuesto antibiótico.

Ilustración: concepto del autor, creada con apoyo de Google Gemini.

Ingeniería molecular y el nacimiento de las generaciones de antibióticos

Dado que descubrir moléculas antibióticas nuevas se ha vuelto extremadamente difícil, la ciencia farmacéutica adoptó una estrategia diferente: la semisíntesis, que consiste en modificar químicamente una molécula obtenida de una fuente natural. En lugar de buscar una llave nueva, tomamos la llave vieja y la limamos para que abra el nuevo cerrojo. Esta estrategia ha permitido desarrollar numerosos antibióticos derivados de compuestos conocidos.

Los científicos identifican la estructura central del antibiótico, llamada andamio molecular, que es esencial para su función. Luego, modifican químicamente los grupos laterales, las “ramas” que salen del andamio, para alterar sus propiedades.

El ejemplo por excelencia son los antibióticos denominados beta-lactámicos, una familia de fármacos que incluye a las penicilinas, las cefalosporinas y los carbapenémicos. Todos comparten en su estructura un anillo de cuatro átomos llamado “anillo beta-lactámico”. Este anillo es esencial para impedir que las bacterias construyan adecuadamente su pared celular. En conse-



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

cuencia, las bacterias quedan debilitadas y pueden romperse por la presión osmótica, es decir, la presión generada por el movimiento del agua a través de su membrana. Las modificaciones químicas realizadas a estos compuestos han dado origen a diferentes familias y generaciones de antibióticos. Es importante señalar que las generaciones se utilizan especialmente para clasificar a las cefalosporinas y no constituyen una secuencia única aplicable a todos los beta-lactámicos. A continuación, se presentan dos ejemplos de la evolución de las penicilinas:

La penicilina G fue revolucionaria, pero presenta limitaciones. El ácido del estómago puede inactivarla, por lo cual se administra principalmente por vía inyectable. Además, tiene actividad limitada frente a ciertas bacterias, en particular algunas Gram-negativas, que poseen una membrana externa adicional que dificulta la entrada de determinados antibióticos.

La ampicilina y la amoxicilina surgieron de modificaciones químicas de la estructura de la penicilina. Estos cambios permitieron obtener fármacos que pueden administrarse por vía oral y que tienen un espectro de acción más amplio, incluida la actividad frente a algunas bacterias Gram-negativas. La amoxicilina, por ejemplo, presenta una absorción oral favorable [2].

El rostro de la amenaza: el grupo de superbacterias ESKAPE

Cuando hablamos de “superbacterias”, los científicos suelen referirse a bacterias que han desarrollado resistencia a múltiples antibióticos. Un grupo especialmente importante en los hospitales es ESKAPE, un acrónimo que agrupa a seis patógenos de gran relevancia clínica: *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* y especies de *Enterobacter*. Estas bacterias pueden causar infecciones difíciles de tratar y representan un desafío para los sistemas de salud [3].

Estos patógenos han perfeccionado el arte de la supervivencia. Por ejemplo, algunas variantes de *Staphylococcus aureus* son resistentes a la meticilina, un antibiótico que antes era eficaz para controlar muchas infecciones causadas por esta bacteria. De igual manera, otras bacterias han desarrollado las denominadas “bombas de flujo”, proteínas localizadas en su membrana que actúan como pequeños motores que “expulsan” el antibiótico fuera de la célula antes de que este pueda causar daño. Entender estas tácticas es vital para que los químicos diseñen moléculas que no sean detectadas o expulsadas.

La guerra de las tijeras moleculares

¿Por qué necesitamos nuevas generaciones de antibióticos? Porque las bacterias contraatacan. Muchas bacterias producen enzimas llamadas beta-lactamasas, proteínas que actúan como tijeras moleculares al romper el anillo beta-lactámico y desactivar el fármaco antes de que pueda actuar.

En respuesta, los científicos han desarrollado cefalosporinas de distintas generaciones, como la ceftriaxona, que pertenece a la tercera generación, y la cefepima, de cuarta generación. Algunas modificaciones del andamio incorporan grupos químicos que dificultan el acceso de determinadas beta-lactamasas al anillo vital. Sin embargo, no todas las cefalosporinas son resistentes a todas estas enzimas. Es un juego interminable del gato y el ratón: nosotros mejoramos el escudo y, en respuesta, las bacterias desarrollan nuevas formas de defensa (Figura 2).



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO



Figura 2. Mecanismo de acción de un antibiótico beta-lactámico y resistencia bacteriana. Arriba (flecha angosta): las bacterias producen beta-lactamasas, “tijeras moleculares” que rompen el anillo beta-lactámico y desactivan el antibiótico. Abajo (flecha gruesa): el rediseño químico del antibiótico puede dificultar la acción de determinadas beta-lactamasas y conservar su actividad.

Ilustración: concepto del autor, creada con apoyo de Google Gemini.

El valle de la muerte: entre lo económico y lo regulatorio

A pesar de estos emocionantes avances científicos, hay una barrera final que no es biológica, sino económica y regulatoria. Una vez descubierta una molécula prometedora, esta debe atravesar lo que la industria llama “valle de la muerte”, el periodo en el que muchos proyectos no logran avanzar desde la investigación inicial hasta convertirse en medicamentos disponibles (Figura 3).

Llevar un antibiótico desde el laboratorio hasta la farmacia puede tomar entre 10 y 15 años y requerir inversiones de cientos de millones o incluso más de mil millones de dólares, según el proyecto y la forma de calcular los costos. El proceso se divide en fases estrictas:

- » En la fase preclínica se realizan pruebas de laboratorio y, cuando corresponde, estudios en animales para evaluar la actividad, la toxicidad y otras características del compuesto.
- » En la fase I se estudia principalmente la seguridad, la tolerancia y el comportamiento del fármaco en un grupo pequeño de personas, generalmente voluntarios sanos.
- » En la fase II se evalúan la seguridad y la eficacia preliminar en un grupo de pacientes con la enfermedad que se busca tratar.
- » En la fase III se realizan ensayos clínicos más amplios para confirmar la eficacia y la seguridad, y comparar el nuevo tratamiento con las alternativas disponibles [4].

El problema es el retorno de inversión. Un antibiótico suele administrarse durante un periodo relativamente corto y, cuando funciona, el paciente deja de necesitarlo. En contraste, muchos medicamentos para controlar enfermedades crónicas, como la diabetes o la hipertensión arterial, se utilizan durante años. Esto hace que el desarrollo de antibióticos resulte menos atractivo para algunas grandes farmacéuticas. Además, los nuevos antibióticos deben utilizarse

con prudencia para retrasar la aparición de resistencia, lo que puede limitar sus ventas. Muchas empresas han reducido o abandonado sus programas de investigación en este sector, dejando parte de la innovación en manos de pequeñas empresas biotecnológicas y universidades que a menudo enfrentan dificultades financieras antes de completar los ensayos clínicos [5].



Figura 3. Barreras económicas y regulatorias en el desarrollo de antibióticos: esquema del “valle de la muerte”, que muestra las etapas preclínica y clínicas, los costos de desarrollo y los obstáculos normativos que dificultan que un nuevo antibiótico llegue al mercado.

Ilustración: concepto del autor, creada con apoyo de Google Gemini.

Inteligencia artificial, un nuevo aliado

La integración de la inteligencia artificial (IA), tecnología que permite a las computadoras identificar patrones y realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, ha marcado un punto de inflexión en la farmacología moderna. Esto permite que la búsqueda de nuevos compuestos no dependa exclusivamente de la intuición humana o de la suerte en el laboratorio. Mediante el uso de modelos de aprendizaje profundo (deep learning), una técnica de IA que aprende patrones complejos a partir de grandes cantidades de datos, los científicos pueden analizar bibliotecas digitales que contienen millones de moléculas en apenas unos días, un proceso que mediante pruebas experimentales individuales podría tomar mucho más tiempo. Estos algoritmos son entrenados para reconocer patrones químicos sutiles asociados con la inhibición del crecimiento de patógenos, permitiendo explorar regiones del “espacio químico”, es decir, el conjunto de estructuras moleculares posibles, que antes resultaban difíciles de investigar.

El caso más emblemático de este avance es el descubrimiento de la halicina, un compuesto con actividad antibiótica identificado mediante un enfoque de aprendizaje profundo. Los investigadores entrenaron una red neuronal, un modelo computacional inspirado en la organización de las neuronas, para predecir la actividad antibacteriana a partir de la estructura molecular, sin depender únicamente de las ideas previas sobre cómo “debería” verse un antibiótico. El resultado fue el hallazgo de una molécula que, aunque inicialmente se estudió para fines distintos, demostró actividad contra bacterias altamente resistentes a antibióticos en estudios de laboratorio y modelos animales, abriendo así una nueva puerta a estructuras químicas innovadoras [6].

Esta frontera tecnológica no solo acelera la fase inicial de descubrimiento, sino que puede actuar como un filtro para evitar que moléculas con alta probabilidad de fracaso entren al cos-

toso “valle de la muerte”. Al combinar la capacidad computacional con el diseño de moléculas átomo por átomo, la IA permite ganar tiempo valioso en la carrera evolutiva contra las bacterias. Sin embargo, sus predicciones deben confirmarse mediante experimentos y ensayos clínicos. En un contexto donde la eficacia de cada nuevo fármaco puede verse limitada por la aparición de resistencia, el uso de estas herramientas digitales se vuelve cada vez más importante para asegurar que la medicina moderna no se quede sin opciones frente a las superbacterias [7].

La creación de nuevos antibióticos es una de las hazañas más sofisticadas de la ciencia moderna. Es una disciplina que navega entre la exploración de la biodiversidad microbiana profunda y el diseño de moléculas átomo por átomo. Mientras algunos científicos, con el reloj en contra, siguen diseñando moléculas a partir de las estructuras químicas existentes para crear nuevas generaciones de fármacos, otros intentan ganar tiempo apostando por abrirle la puerta a estructuras con potencial antibiótico nunca antes imaginadas [6].

Sin embargo, la ciencia no ocurre en el vacío. La crisis de resistencia antibiótica no se resolverá solo con nuevas moléculas; requiere un cambio en el modelo económico que incentive su desarrollo y, sobre todo, una conciencia global sobre su conservación. Cada nuevo antibiótico es un recurso cuya eficacia debemos proteger; desde el momento en que se utiliza, existe la posibilidad de que las bacterias desarrollen resistencia. Entender el titánico esfuerzo que conlleva crearlos es el primer paso para valorarlos como lo que realmente son: un tesoro prestado que debemos proteger.

Agradecimiento: al Fondo para el Fortalecimiento de la Investigación, Vinculación y Extensión (FONFIVE), proyecto FNB202537, para J. A. C. Ch.

Referencias

- [1] K. Lewis, “The science of antibiotic discovery,” *Cell*, vol. 181, no. 1, pp. 29–45, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.02.056>.
- [2] B. G. Katzung, *Basic & Clinical Pharmacology*, 14th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://accessmedicine.mhmedical.com/book.aspx?bookID=2249>.
- [3] V. M. Chávez-Jacobo, “La batalla contra las superbacterias: no más antimicrobianos, no hay ESKAPE,” *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 23, art. e20200202, 2020. doi: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.202>.
- [4] G. D. Wright, “Opportunities for natural products in 21st century antibiotic discovery,” *Natural Product Reports*, vol. 34, no. 7, pp. 694–701, 2017. doi: <https://doi.org/10.1039/C7NP00019G>.
- [5] The Pew Charitable Trusts, “Antibiotics currently in global clinical development,” 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/data-visualizations/2014/antibiotics-currently-in-clinical-development>.
- [6] J. M. Stokes et al., “A deep learning approach to antibiotic discovery,” *Cell*, vol. 180, no. 4, pp. 688–702.e13, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.01.021>.
- [7] B. K. R. Sanapalli, S. Palit, A. Deshpande, R. Tokala, D. K. Sigalapalli y V. Sanapalli, “Artificial intelligence and the discovery of antibiotics: Reinventing with opportunities, challenges, and clinical translation,” *Antibiotics*, vol. 15, no. 2, art. 233, 2026. doi: <https://doi.org/10.3390/antibiotics15020233>.
- [8] S. Giono-Cerezo, J. I. Santos-Preciado, M. D. R. Morfín-Otero, F. J. Torres-López y M. D. Alcántar-Curiel, “Resistencia antimicrobiana. Importancia y esfuerzos por contenerla,” *Gaceta Médica de México*, vol. 156, no. 2, pp. 172–180, 2020. doi: <https://doi.org/10.24875/gmm.20005624>.
- [9] Y. López Gamboa, Y. Gamboa Pellicier, Y. Rodríguez Cantillo y Y. L. Arteaga Yáñez, “Resistencia microbiana a los antibióticos: un problema de salud creciente,” *Revista*



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

Científica Hallazgos21, vol. 7, no. 1, pp. 103–114, 2022. doi: <https://doi.org/10.69890/hallazgos21.v7i1.562> .

[10] J. M. Vanegas Múnera y J. N. Jiménez Quiceno, “Resistencia antimicrobiana en el siglo XXI: ¿hacia una era postantibiótica?,” Revista Facultad Nacional de Salud Pública, vol. 38, no. 1, pp. 1–6, 2020. doi: <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v38n1e337759> .



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO



CIENCIAS DE LA SALUD

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 3, julio-septiembre 2026

<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.03.sal.02>
e0403sal02

CIENCIA VITAL
Revista de Divulgación Científica de la UACJ
ISSN: 2627-0000

Aplicaciones clínicas de la inteligencia artificial en mamografía

Desafíos y oportunidades en la práctica radiológica

Yazmín Mireles¹

José David Díaz Román²

Boris Mederos-Madrado³

Lidia Rascón-Madrigal⁴

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0009-0000-5421-9313>

² Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0000-0002-8246-6562>
david.roman@uacj.mx

³ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0000-0002-0131-7566>

⁴ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0000-0003-4596-5781>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

RESUMEN

La inteligencia artificial está transformando la interpretación de las mamografías y abre nuevas posibilidades para apoyar la detección temprana del cáncer de mama. Aunque la mamografía es fundamental para identificar la enfermedad antes de que aparezcan síntomas, factores como la densidad del tejido mamario, la fatiga visual y las diferencias de interpretación entre especialistas pueden dificultar el diagnóstico. En este contexto, la IA puede funcionar como una aliada del radiólogo al priorizar estudios, señalar regiones sospechosas y reducir la carga de trabajo. Este artículo presenta las principales formas en que esta tecnología se incorpora al análisis de mamografías, así como sus beneficios y desafíos. Si bien puede contribuir a detectar más casos y hacer más eficiente la atención, también plantea riesgos relacionados con falsas alarmas, sesgos, privacidad y responsabilidad ante posibles errores. Su implementación gradual, transparente y supervisada puede ayudar a aprovechar sus beneficios sin sustituir el juicio clínico y el componente humano de la atención médica.

Introducción

La integración de la inteligencia artificial (IA) en mamografía representa una transformación importante del flujo de trabajo radiológico, particularmente para la detección y evaluación del cáncer de mama, considerado el cáncer más frecuente en mujeres, con aproximadamente 2.3 millones de casos nuevos anuales reportados a nivel mundial, según cifras de GLOBOCAN 2022 [1].

Uno de los principales desafíos se encuentra en el diagnóstico temprano. La mamografía de tamizaje, estudio que se realiza para detectar cáncer de mama antes de que aparezcan síntomas, ha demostrado reducir las muertes por esta enfermedad hasta en 40 % en mujeres de 40 a 79 años. Sin embargo, una limitación significativa es la composición del tejido mamario [2].

No todas las mamas son iguales en una radiografía. Cuando el tejido es principalmente graso, como suele ocurrir después de la menopausia, la mamografía detecta el 98 % de los tumores presentes. Pero cuando el tejido es denso, una condición que afecta aproximadamente al 40 % de las mujeres en edad de tamizaje (40 a 69 años), la tasa de detección cae entre 30 % y 64 % [2].

A esta dificultad se suma el cansancio visual asociado con la interpretación de una gran cantidad de imágenes. En México, la regulación oficial (NOM-041-SSA2-2011) requiere que los radiólogos interpreten entre 2,000 y 5,000 mamografías al año para mantener su certificación [3]. Esto significa revisar, en promedio, entre 8 y 20 estudios cada día laboral. Cada mamografía incluye típicamente cuatro imágenes que deben analizarse cuidadosamente, buscando señales que a menudo son más pequeñas que un grano de arroz.

En la Figura 1 se presentan las principales limitaciones en la interpretación de las mamografías, entre ellas la variabilidad diagnóstica entre radiólogos y la posibilidad de que algunos cánceres no sean detectados.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

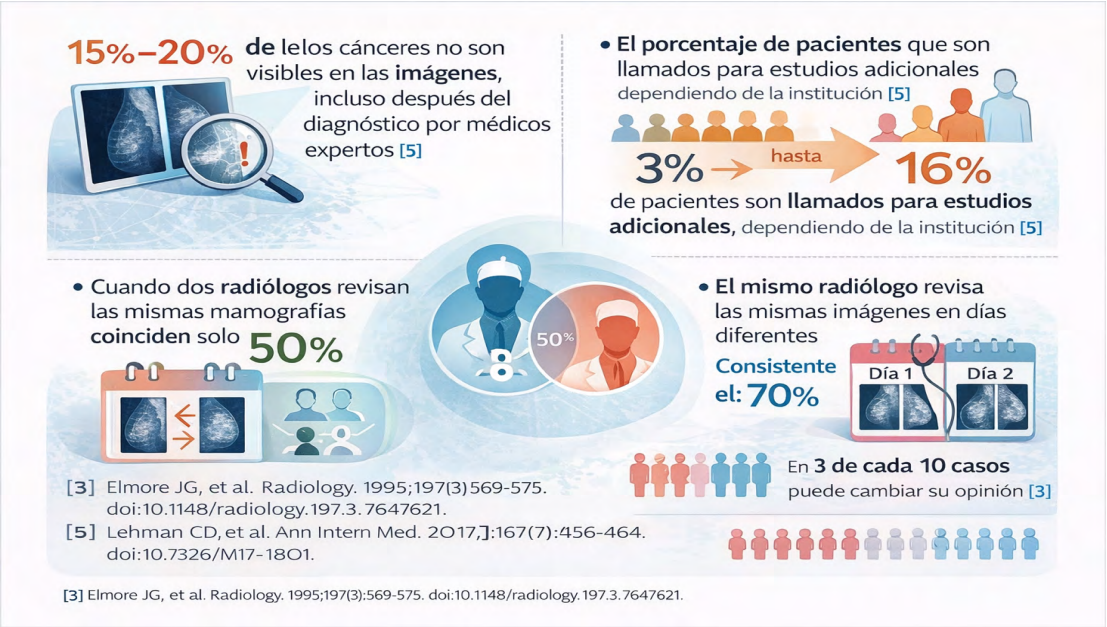


Figura 1. Variabilidad diagnóstica y limitaciones en la interpretación de mamografías [2], [3].

Estos datos no buscan cuestionar la competencia de los profesionales médicos, sino evidenciar una realidad: el diagnóstico radiológico es inherentemente desafiante, especialmente bajo condiciones de alto volumen de trabajo. La pregunta no es si los radiólogos son capaces, sino cómo podemos apoyarlos con herramientas que reduzcan la variabilidad interpretativa y la fatiga, sin comprometer su autonomía clínica ni la seguridad de las pacientes.

Clasificación de aplicaciones clínicas

La inteligencia artificial no se usa de una sola manera en la detección del cáncer de mama. Dependiendo del hospital o sistema de salud, puede desempeñar funciones diferentes. Actualmente pueden distinguirse tres modalidades principales, cada una con su propia evidencia científica, ventajas y desafíos.

Tamizaje poblacional automatizado: la IA reemplaza al segundo radiólogo

En muchos países, cada mamografía es revisada por dos radiólogos diferentes para reducir errores, lo que se conoce como «doble lectura». En esta modalidad, la inteligencia artificial reemplaza al segundo lector humano. Un radiólogo revisa las imágenes y la IA actúa como un segundo par de ojos.

Los estudios recientes muestran que este tipo de aplicación puede influir tanto en la carga de trabajo de los especialistas como en la detección del cáncer (Figura 2).

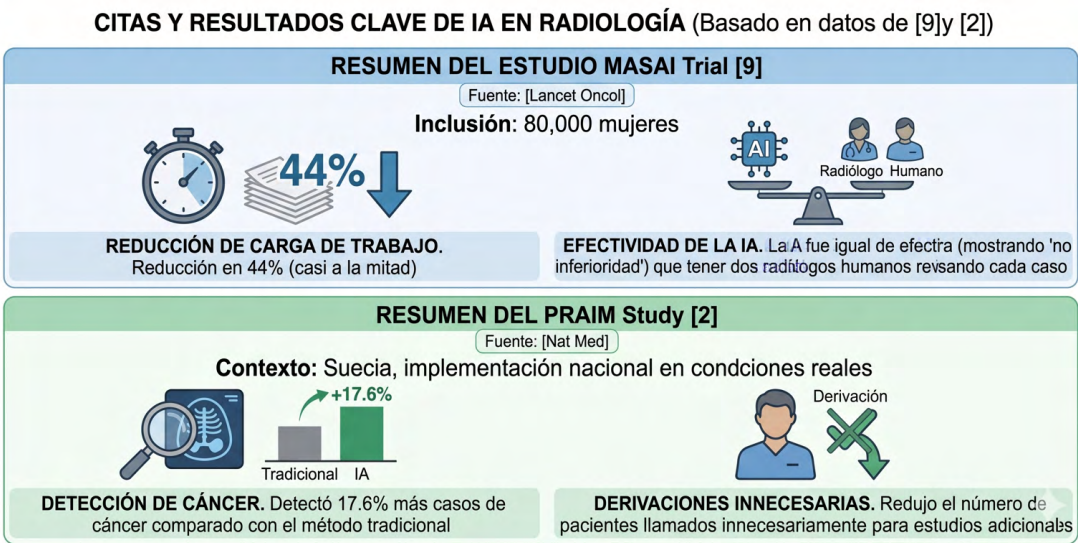


Figura 2. Resultados clave del uso de inteligencia artificial en radiología.

Los estudios de Lång et al. y Eisemann et al. han demostrado que el uso de inteligencia artificial en mamografía puede reducir la carga de trabajo de los radiólogos y mejorar la detección de cáncer de mama [4], [5].

Diversos estudios también han evaluado su desempeño en distintos contextos médicos, desde la validación en diferentes países hasta su implementación en sistemas de salud. Sus principales hallazgos se presentan en la Figura 3 [6], [7].



Figura 3. Estudios clave de inteligencia artificial en medicina: validación y aplicación clínica.

Triage inteligente: la IA decide qué casos revisar primero

Otra posibilidad consiste en utilizar la IA para establecer el orden en que se revisan las mamografías. El sistema asigna a cada estudio un «puntaje de riesgo» que indica qué tan probable es que contenga señales sospechosas, de manera que los radiólogos puedan revisar primero los casos de mayor riesgo.

Este tipo de aplicación también está sujeto a requisitos regulatorios, ya que los sistemas de inteligencia artificial utilizados con fines médicos deben evaluarse de acuerdo con su función y nivel de riesgo (Figura 4).



Figura 4. Regulación de la inteligencia artificial médica y sus desafíos.

Una de las ventajas de esta modalidad es que permite reorganizar el flujo de trabajo sin eliminar la participación del especialista. Los radiólogos continúan revisando todos los estudios, pero los casos potencialmente más urgentes se procesan primero [8].

Segunda lectura concurrente: la IA como asistente en tiempo real

En esta modalidad, el radiólogo y la IA trabajan de manera simultánea. Mientras el médico interpreta las imágenes, el sistema analiza las mismas mamografías y señala las áreas que considera sospechosas. El radiólogo mantiene la decisión final, pero dispone de una «segunda opinión» digital que puede alertarlo sobre algún hallazgo que podría haber pasado por alto [9].

La evidencia científica reciente ha comparado el desempeño de estos sistemas con el de radiólogos humanos y ha analizado su utilidad como herramientas de apoyo diagnóstico (Figura 5).

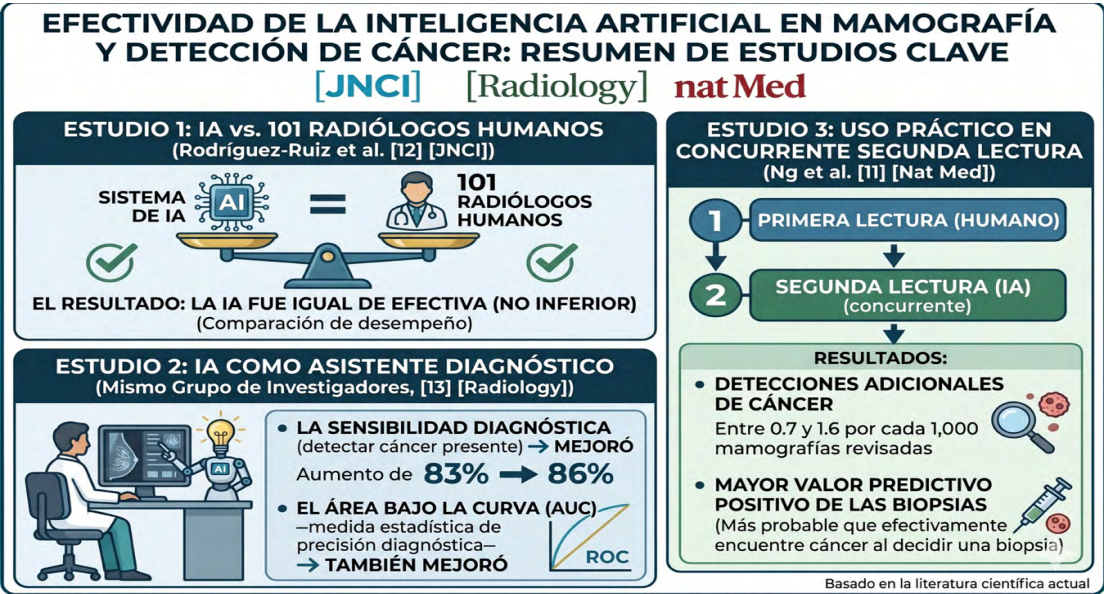


Figura 5. Efectividad de la inteligencia artificial en mamografía: resumen de estudios clave.

Como se observa en la Figura 5, la inteligencia artificial ha demostrado un desempeño comparable al de los radiólogos humanos en determinadas condiciones, además de mejorar la sensibilidad diagnóstica y contribuir a la detección de casos adicionales de cáncer. Estos resultados respaldan su utilidad como herramienta complementaria en la práctica clínica [7], [10].

Esta modalidad se ha convertido en una de las formas más comunes de integrar la IA en la práctica radiológica porque no sustituye al especialista, sino que lo asiste, y puede incorporarse a los flujos de trabajo existentes sin requerir cambios drásticos en los protocolos hospitalarios [8].

Consecuencias de la adopción tecnológica desregulada

La implementación acelerada y no regulada de la inteligencia artificial en mamografía puede introducir riesgos clínicos adicionales en la interpretación diagnóstica, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Riesgos de la adopción desregulada de inteligencia artificial en la práctica mamográfica.

Riesgo	Evidencia o consecuencia	Impacto
Sobrediagnóstico de carcinoma ductal in situ (DCIS)	El carcinoma ductal in situ (DCIS), una alteración en la que células anormales permanecen dentro de los conductos mamarios, puede incluir lesiones que nunca progresarían a cáncer invasivo. Una mayor detección puede conducir a tratamientos innecesarios en algunos casos [2].	Alto
Degradación de habilidades clínicas	Los radiólogos pueden volverse dependientes de la tecnología. Cuando el sistema falla o no está disponible, su precisión diagnóstica puede disminuir [11].	Alto
Ambigüedad medicolegal	Surge la pregunta de quién es responsable cuando ocurre un error: el radiólogo que ignoró una alerta correcta de la IA o el médico que siguió una sugerencia errónea del sistema [11].	Medio
Saturación de alertas de IA	El sistema puede marcar tantas áreas sospechosas por estudio que los radiólogos comiencen a ignorar las alertas [11].	Medio
Desigualdad tecnológica	Los hospitales con más recursos pueden tener sistemas de IA más avanzados, lo que puede crear diferencias en la calidad del diagnóstico entre instituciones [11].	Medio
Sesgo en los datos de entrenamiento	Si la IA fue entrenada principalmente con mamografías de determinados grupos poblacionales, su rendimiento puede disminuir en poblaciones subrepresentadas, como mujeres latinas, afroamericanas o asiáticas [12].	Alto

Como se muestra en la Tabla 1, la adopción desregulada de la inteligencia artificial puede dar lugar a múltiples consecuencias relevantes. Entre ellas destacan el sobrediagnóstico, que puede conducir a tratamientos innecesarios, y la degradación de habilidades clínicas por dependencia tecnológica. Asimismo, surgen desafíos medicolegales relacionados con la asignación de responsabilidad ante errores diagnósticos. Otros riesgos incluyen la saturación de alertas, la desigualdad en el acceso a tecnologías avanzadas y la presencia de sesgos en los datos de entrenamiento, los cuales pueden afectar de manera desproporcionada a poblaciones subrepresentadas. En conjunto, estos factores subrayan la necesidad de una implementación cuidadosa y regulada de estas herramientas.

Un aspecto particularmente complejo es determinar quién es responsable cuando la IA se equivoca. Desde una perspectiva legal, su integración introduce una ambigüedad significativa en la responsabilidad clínica. Por ejemplo, puede ocurrir que la IA marque un área como altamente sospechosa, el radiólogo no esté de acuerdo y meses después se confirme un cáncer. También puede suceder lo contrario: que el especialista siga una sugerencia errónea del sistema y solicite una biopsia innecesaria. Un tercer escenario ocurre cuando el propio sistema falla sin advertencia y, debido a un error de software, no identifica un cáncer evidente.

La ausencia de marcos regulatorios estandarizados limita la adopción segura de estas tecnologías y plantea desafíos reales en la práctica clínica diaria [11]. Los seguros de responsabilidad profesional también enfrentan interrogantes sobre cómo manejar este tipo de situaciones.

¿La inteligencia artificial ya está leyendo mamografías?

Imagina que cada mamografía pudiera ser analizada no solo por un radiólogo experto, sino también por un sistema de inteligencia artificial entrenado con millones de imágenes. Algunos sistemas de IA han recibido aprobaciones regulatorias y ya se utilizan en hospitales y clínicas alrededor del mundo.

Existen diversos sistemas desarrollados para apoyar la detección del cáncer de mama en mamografías. Para entender qué tan buenos son, los científicos utilizan una medida llamada área bajo la curva ROC (AUC-ROC), que permite evaluar qué tan bien un sistema distingue entre diferentes categorías; en este caso, entre imágenes sin cáncer y aquellas con hallazgos compatibles con cáncer. Un valor de 1 representa una clasificación perfecta; algunos sistemas evaluados han alcanzado valores entre 0.87 y 0.94 [8].

Para ponerlo en perspectiva, algunos de estos sistemas han mostrado un desempeño comparable o superior al promedio de un radiólogo individual en determinadas condiciones experimentales. Por ejemplo, el sistema ProFound AI obtuvo un valor de AUC de 0.89, mientras que los radiólogos evaluados en el mismo estudio alcanzaron 0.87 [8]–[13].

Existen diversos sistemas de inteligencia artificial que cuentan con aprobación regulatoria y se utilizan en la práctica clínica para el análisis de imágenes mamográficas. Estos sistemas difieren en su modalidad de uso y aplicación clínica, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Sistemas de inteligencia artificial con aprobación regulatoria para el análisis de mamografías.

Sistema	Modalidad	Aprobación	Aplicación clínica
ProFound AI de iCAD [8]	Mamografía	FDA (2018)	Segunda lectura
MammoScreen de Therapixel [8]	Mamografía	Marcado CE	Triaje inteligente
Mia de Kheiron Medical [8]	Mamografía	Marcado CE	Tamizaje asistido por IA

Como se observa en la Tabla 2, los sistemas de inteligencia artificial aprobados para mamografía se emplean principalmente como herramientas de apoyo, ya sea como segunda lectura, triaje inteligente o en esquemas de tamizaje asistido. Aunque su integración en la práctica clínica es cada vez mayor, su uso sigue siendo complementario al criterio médico, lo que resalta la importancia de una implementación supervisada.

A pesar de estos resultados prometedores, la IA no es infalible. En estudios recientes, más de un tercio de determinados casos de cáncer pasaron desapercibidos tanto para la IA como para los radiólogos (34 casos). Además, hubo cuatro cánceres que solo los médicos detectaron y que la IA no identificó [8].

El problema no es únicamente la tecnología, sino también las limitaciones inherentes de la propia mamografía. En mujeres con tejido mamario denso, que es como tratar de ver a través de una ventana empañada, tanto los humanos como las máquinas tienen más dificultades.

Además, la mayoría de estos estudios se realizaron con mamografías tradicionales bidimensionales (2D). Actualmente, muchas clínicas utilizan una tecnología más avanzada llamada tomosíntesis digital, que genera múltiples imágenes de la mama desde diferentes ángulos para facilitar la visualización del tejido. Aún se requiere mayor evidencia para conocer completamente qué tan bien funciona la IA con esta tecnología. Lo que sí sabemos es que, incluso con tomosinte-

sis, la IA todavía no supera de manera consistente el desempeño de dos radiólogos trabajando juntos.

La aceptación de estas herramientas por parte de las pacientes también es un aspecto importante. Los estudios indican que muchas están abiertas a que una IA analice sus mamografías, siempre y cuando trabaje junto con el médico y no en su lugar [13]. En general, muestran un optimismo cauteloso: aceptan la IA como herramienta de apoyo, pero desean transparencia sobre cómo funciona, información suficiente sobre su utilización y la garantía de que el médico seguirá siendo el responsable final de su atención.

Estas inquietudes pueden resumirse en tres aspectos principales: la confiabilidad de los sistemas, la equidad en su funcionamiento y la conservación del componente humano en la atención médica (Figura 6).



Figura 6. Tres preguntas clave sobre la implementación de inteligencia artificial médica.

La perspectiva de las pacientes pone de manifiesto preguntas esenciales relacionadas con la confiabilidad, la equidad y la humanización de los sistemas de inteligencia artificial utilizados para el diagnóstico [13].

El desafío de entender cómo piensa la máquina

Imagina que contratas a un experto para revisar algo importante, pero cuando le preguntas «¿por qué o cómo llegaste a esa conclusión?», te responde: «Confía en mí, así funciona». Probablemente no te sentirías muy cómodo, ¿verdad? Algo parecido ocurre con algunos sistemas de inteligencia artificial utilizados en medicina.

Cuando una máquina analiza una mamografía y señala una zona sospechosa, el médico necesita entender por qué realiza esa indicación. No es suficiente con que diga «aquí hay algo malo». Es importante saber si está identificando una forma irregular, un cambio de densidad o una calcificación microscópica.

Comprender cómo se genera una decisión no es solo una cuestión de curiosidad científica, sino también legal, ética y práctica [14], [15]. Desde el punto de vista legal, si algo sale mal, es necesario determinar responsabilidades y comprender los elementos que influyeron en la de-

cisión. En la práctica, el médico debe poder verificar si la recomendación de la máquina es adecuada. Desde una perspectiva ética, los pacientes necesitan recibir información comprensible sobre cómo se toman las decisiones relacionadas con su salud.

Uno de los principales retos se relaciona con el llamado problema de la «caja negra». Algunos de los sistemas de IA más complejos funcionan de esta manera [15]: reciben información por un lado, como la imagen de una mamografía, y generan una respuesta por el otro, por ejemplo, «posible cáncer», pero resulta difícil conocer con precisión qué procesos internos llevaron a esa conclusión.

Esto plantea problemas relacionados con la privacidad, la responsabilidad y la confianza médica. En materia de privacidad, surge la preocupación sobre cómo se utilizan y protegen los datos de pacientes empleados para desarrollar los sistemas. En cuanto a la responsabilidad, si la IA se equivoca, puede resultar difícil determinar qué parte del proceso falló. Finalmente, los profesionales pueden mostrarse menos dispuestos a confiar en un sistema cuyo funcionamiento no pueden interpretar adecuadamente.

El proceso general mediante el cual un sistema de IA puede apoyar el diagnóstico mamográfico se presenta en la Figura 7.

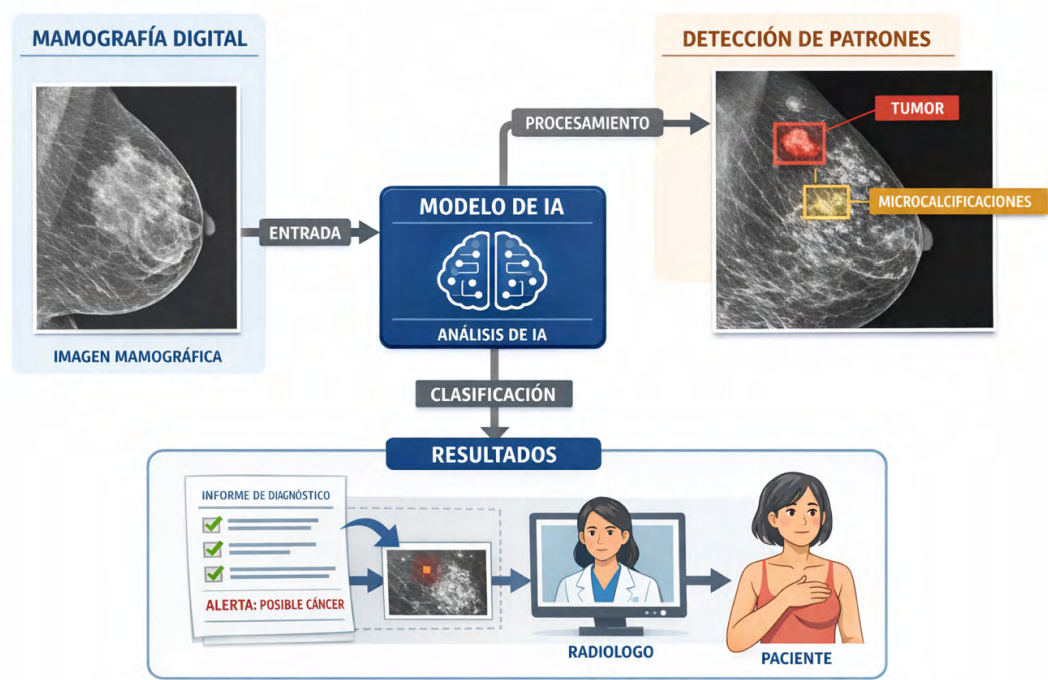


Figura 7. Proceso diagnóstico asistido por inteligencia artificial.

En términos generales, este proceso comprende el ingreso de la imagen digital, su análisis mediante una red neuronal —un modelo computacional que aprende patrones a partir de grandes cantidades de datos—, la detección automatizada de hallazgos como masas o microcalcificaciones, la clasificación del riesgo y la generación de información para la revisión radiológica [12].

Para enfrentar el problema de la «caja negra», se desarrollan métodos que permiten a la IA «mostrar su trabajo», de manera similar a cuando un profesor pide que no solo se proporcione la respuesta de un problema matemático, sino que también se explique cómo se llegó a ella. Estas técnicas pueden crear mapas visuales que resaltan las partes de una imagen que tuvieron mayor influencia en la decisión del sistema. Es como si la IA utilizara un marcador fluorescente para señalar: «Esto es lo que me hizo sospechar».

Esta capacidad puede resultar especialmente útil en la práctica clínica. Cuando los médicos pueden identificar qué elementos de la imagen influyeron en una predicción, tienen mayores posibilidades de detectar errores sistemáticos, comprender las recomendaciones del sistema, explicar a sus pacientes por qué solicitan estudios adicionales y evaluar con mayor confianza la información proporcionada por la tecnología. También facilita que los organismos reguladores examinen el funcionamiento de estos sistemas.

La complementariedad entre las capacidades de la inteligencia artificial y las del radiólogo se resume en la Tabla 3.

Tabla 3. Complementariedad diagnóstica entre inteligencia artificial y radiólogos.

Dominio diagnóstico	Desempeño de la IA	Desempeño humano	Razón
Microcalcificaciones finas dispersas	Favorable	Similar	Evaluación detallada de la imagen sin fatiga
Cuantificación de la densidad mamaria	Favorable	Similar	Objetividad y reproducibilidad
Distorsión arquitectural sutil	Favorable	Similar	Detección de patrones de baja visibilidad
Contexto clínico complejo	Limitado	Favorable	Integración de la historia clínica y comorbilidades
Correlación con exploración física	No disponible	Favorable	Acceso a información no contenida en la imagen
Hallazgos limítrofes y ansiedad de la paciente	Limitado	Favorable	Juicio contextual y comunicación empática

La evidencia muestra que la inteligencia artificial y los radiólogos humanos pueden presentar fortalezas en ámbitos distintos, lo que respalda el desarrollo de modelos colaborativos de segunda lectura asistida [4].

Conclusión

La evidencia acumulada indica que los sistemas de inteligencia artificial, cuando se implementan de manera adecuada, pueden mejorar la detección temprana del cáncer de mama, reducir la carga interpretativa y contribuir a estandarizar la calidad diagnóstica. No obstante, su adopción enfrenta desafíos relevantes de carácter ético, legal y de seguridad de datos, además de limitaciones relacionadas con los falsos positivos. Estos aspectos refuerzan su papel como herramienta complementaria, más que sustitutiva, del radiólogo [2].

El proceso de implementación de IA comprende tres etapas fundamentales: desarrollo del modelo, entrenamiento con grandes volúmenes de datos y validación interna y externa. Sin embargo, uno de los principales retos es la generalización, es decir, la capacidad de un sistema para mantener un buen desempeño cuando se utiliza con poblaciones o datos diferentes de aquellos empleados durante su entrenamiento. Los modelos pueden presentar sesgos cuando se aplican en poblaciones distintas. En consecuencia, aún se requiere mayor evidencia para definir con precisión el papel óptimo de la IA en la práctica de la imagenología mamaria [8].

La implementación de inteligencia artificial en mamografía requiere estrategias que garanticen su uso seguro, ético y clínicamente efectivo. Entre ellas se encuentran realizar estudios piloto y auditorías antes de su despliegue a gran escala; proporcionar capacitación estructurada al personal para que el radiólogo mantenga su competencia diagnóstica independiente; realizar una validación local en la población donde se utilizará el sistema; establecer marcos claros de responsabilidad entre el radiólogo, el fabricante y la institución; priorizar herramientas que

permitan comprender mejor las predicciones de los modelos; y monitorear su desempeño en poblaciones subrepresentadas para identificar y reducir posibles sesgos derivados de los datos de entrenamiento.

En este contexto, destaca la inteligencia artificial explicable o XAI (*Explainable Artificial Intelligence*), un conjunto de métodos que busca hacer más comprensibles las decisiones de los modelos de IA. Herramientas como Grad-CAM (*Gradient-weighted Class Activation Mapping*), una técnica que genera mapas visuales para identificar las regiones de una imagen que influyeron en la decisión del modelo, pueden favorecer la transparencia, la confianza clínica y la trazabilidad en la toma de decisiones médicas.

En conjunto, la inteligencia artificial ofrece oportunidades importantes para mejorar la interpretación de mamografías, pero su valor no reside en sustituir el conocimiento y la experiencia de los profesionales de la salud. Su mayor potencial se encuentra en la colaboración: aprovechar la capacidad de los sistemas computacionales para analizar grandes cantidades de información y reconocer patrones, mientras se conserva el juicio clínico, la experiencia y la comunicación humana del radiólogo.

Referencias

[1] F. Bray, M. Laversanne, H. Sung, J. Ferlay, R. L. Siegel, I. Soerjomataram, and A. Jemal, "Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries," *CA Cancer J. Clin.*, vol. 74, no. 3, pp. 229–263, May 2024, doi: <https://doi.org/10.3322/caac.21834>.

[2] Colegio y Asociación Mexicana de Patólogos, A.C., *Consenso mexicano sobre diagnóstico y tratamiento del cáncer mamario*, 11th ed., México, 2025. [Online]. Available: https://ampatologia.org/amp/static/descargas/CONSENSO_CANCER_MAMA_2025.pdf.

[3] C. E. Ventura-Alfaro, "Errores de medición en la interpretación mamográfica por radiólogos," *Rev. Salud Pública*, vol. 20, no. 4, pp. 518–522, 2018.

[4] K. Lång *et al.*, "Artificial intelligence-supported screen reading versus standard double reading in the Mammography Screening with Artificial Intelligence (MASAI) trial," *Lancet Oncol.*, vol. 24, no. 8, pp. 936–944, Aug. 2023, doi: [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(23\)00298-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(23)00298-X).

[5] N. Eisemann, S. Bunk, T. Mukama, H. Baltus, S. A. Elsner, *et al.*, "Nationwide real-world implementation of AI for cancer detection in population-based mammography screening," *Nat. Med.*, vol. 31, no. 3, pp. 917–924, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03408-6>.

[6] S. M. McKinney *et al.*, "International evaluation of an AI system for breast cancer screening," *Nature*, vol. 577, no. 7781, pp. 89–94, Jan. 2020, doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1799-6>.

[7] A. N. Ng *et al.*, "Prospective implementation of AI-assisted screen reading to improve early detection of breast cancer," *Nat. Med.*, vol. 29, no. 12, pp. 3044–3049, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02625-9>.

[8] L. E. Philpotts, "Evaluating whether standalone AI really stands up," *Radiology*, vol. 315, no. 1, Apr. 2025, doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.250364>.

[9] A. Rodriguez-Ruiz *et al.*, "Detection of breast cancer with mammography: Effect of an artificial intelligence support system," *Radiology*, vol. 290, no. 2, pp. 305–314, Feb. 2019, doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.2018181371>.

[10] A. Rodriguez-Ruiz *et al.*, "Stand-alone artificial intelligence for breast cancer detection in mammography: Comparison with 101 radiologists," *J. Natl. Cancer Inst.*, vol. 111, no. 9, pp. 916–922, Sep. 2019, doi: <https://doi.org/10.1093/jnci/djy222>.

[11] C. Monaldi *et al.*, "Artificial intelligence in radiology: Navigating medical responsibility and bias," *Diagnostics*, vol. 14, no. 14, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/diagnostics14141506>.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

[12] E. J. Topol, “High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence,” *Nat. Med.*, vol. 25, pp. 44–56, 2019, doi: <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>.

[13] B. B. Ozcan, B. E. Dogan, Y. Xi, and E. E. Knippa, “Perception of patients regarding the use of artificial intelligence in screening mammography interpretation: A survey study,” *Radiology: Artificial Intelligence*, 2024, doi: <https://doi.org/10.1148/rycan.240290>.

[14] Radiological Society of North America (RSNA), “Radiologist fatigue, experience affect breast imaging call backs,” Jan. 11, 2022. [Online]. Available: <https://www.rsna.org/media/press/i/2323>. [Accessed: Apr. 12, 2026].

[15] Y. Chen, G. J. W. Partridge, M. Vazirabad, R. L. Ball, H. M. Trivedi, F. C. Kitamura, H. M. L. Frazer, *et al.*, “Performance of algorithms in the 2023 RSNA screening mammography breast cancer detection AI challenge,” *Radiology*, Aug. 2025, doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.241447>.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO



CIENCIAS SOCIALES

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 3, julio-septiembre 2026
<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.03.soc.01>
e0403SOC01

CIENCIA VITAL
Revista de Divulgación Científica de la UACJ
ISSN: 2615-9446

Embarazo adolescente en México: un desafío que persiste

Francisco Morales Arce¹
Rafael Mauricio Marrufo²



¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez,
Instituto Mexicano del Seguro Social
<https://orcid.org/0000-0002-5114-9265>
francisco.arce@uacj.mx

² Universidad Autónoma de Ciudad
Juárez <https://orcid.org/0000-0002-4658-1758>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

RESUMEN

El embarazo en la adolescencia sigue siendo un desafío importante en México. Aunque las cifras han disminuido ligeramente en los últimos años, el país mantiene tasas elevadas en comparación con otras naciones desarrolladas. Este fenómeno va más allá de la salud: puede afectar la continuidad escolar, las oportunidades laborales y el proyecto de vida de miles de jóvenes. Su origen no responde a una sola causa, sino a factores como la desigualdad social, la pobreza, el abandono escolar, la falta de educación sexual integral y las dificultades para acceder a métodos anticonceptivos. También puede aumentar el riesgo de anemia y atención prenatal tardía en la madre, así como de bajo peso al nacer o nacimiento prematuro en el bebé. Sin embargo, estas consecuencias no son inevitables. La evidencia muestra que una educación sexual adecuada, el acceso confidencial a anticonceptivos, servicios de salud respetuosos y el apoyo familiar y escolar pueden contribuir a la prevención. Comprender estas causas es fundamental para ofrecer a las y los adolescentes mejores condiciones para tomar decisiones informadas y construir su futuro.

Introducción

María tiene 16 años. Hace unos meses dejó la preparatoria porque estaba embarazada. Vive con su madre, no trabaja y depende económicamente de su familia. Su historia no es única. Cada año, miles de adolescentes en México atraviesan una situación similar.

El embarazo adolescente no es simplemente una cifra en una estadística oficial. Es una realidad que transforma proyectos de vida, modifica trayectorias educativas y puede afectar la salud de la madre y de su bebé.

Aunque en México la tasa de fecundidad adolescente ha disminuido ligeramente, el país todavía presenta una de las cifras más altas entre los integrantes de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), lo que indica que el problema persiste [1].

La intención de este artículo es explicar los factores que favorecen su persistencia, sus posibles consecuencias para la madre y el bebé, su impacto social y las estrategias de prevención respaldadas por la evidencia.



Figura 1. Embarazo adolescente: impacto en la salud, la educación y el futuro.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

Se considera embarazo adolescente aquel que ocurre entre los 10 y 19 años. Durante esta etapa, el cuerpo aún está en desarrollo y la madurez emocional y social todavía se están construyendo.

Como se resume en la Figura 1, sus consecuencias pueden extenderse más allá del embarazo. En algunos casos, puede aumentar el riesgo de complicaciones médicas, interrumpir la continuidad escolar, limitar las oportunidades laborales futuras y reforzar los ciclos de desigualdad.

Estas repercusiones se encuentran relacionadas: abandonar la escuela puede reducir las posibilidades de conseguir un empleo estable y aumentar la dependencia económica. Por ello, el embarazo adolescente no debe entenderse únicamente como una situación médica o individual, sino como un fenómeno con implicaciones sanitarias, educativas, económicas y sociales.

Más allá de una sola causa

Diversos estudios demuestran que el embarazo adolescente es más frecuente en contextos de pobreza y marginación [2], [3]. Sin embargo, no existe una sola causa. Generalmente, interviene un conjunto de factores personales, familiares, educativos, económicos y sociales.

La relación entre abandono escolar y embarazo adolescente puede ocurrir en ambos sentidos: algunas adolescentes dejan la escuela como consecuencia del embarazo, mientras que otras ya habían abandonado sus estudios antes de quedar embarazadas. Un estudio realizado en México encontró que menores niveles de escolaridad se asocian con una mayor probabilidad de embarazo temprano [3].

La educación sexual integral no promueve el inicio temprano de las relaciones sexuales; por el contrario, puede reducir conductas de riesgo al proporcionar información clara y adecuada para la edad [4], [8]. Sin embargo, su implementación no siempre es uniforme y todavía persisten numerosos mitos, como:

- “Hablar de anticonceptivos incita a tener relaciones”.
- “La primera vez no hay riesgo de embarazo”.
- “Los métodos anticonceptivos son peligrosos”.

La falta de información clara aumenta la vulnerabilidad. El uso irregular o incorrecto de métodos anticonceptivos es frecuente entre adolescentes [5]. Entre las razones principales se encuentran:

- El desconocimiento sobre los métodos disponibles.
- El temor a los posibles efectos secundarios.
- La vergüenza al solicitarlos.
- Las barreras para acceder a los servicios de salud (Figura 2).

¿Qué consecuencias puede tener para la salud de la madre?

En las adolescentes embarazadas se observan con mayor frecuencia problemas como anemia, infecciones urinarias, inicio tardío del control prenatal y ganancia de peso inadecuada, entre otros. La anemia es especialmente relevante porque las adolescentes aún están creciendo; si a ello se suma el embarazo, las necesidades de hierro aumentan y, cuando no se cubren adecuadamente, puede haber fatiga extrema y mayor riesgo de complicaciones [9]. Además, iniciar el control prenatal después del primer trimestre reduce la posibilidad de detectar problemas

tempranamente y las oportunidades de brindar orientación sobre alimentación, cuidados y señales de alarma.



Figura 2. Factores que pueden favorecer el embarazo adolescente.

¿Qué puede pasar con el bebé?

El embarazo adolescente se ha asociado con bajo peso al nacer, nacimiento prematuro y mayor riesgo de hospitalización neonatal [6], [10]. Esto no significa que todos los embarazos adolescentes tengan complicaciones, pero el riesgo aumenta cuando existen condiciones sociales adversas y atención médica tardía.

El impacto social

Uno de los efectos más visibles es la interrupción escolar. Muchas adolescentes no regresan a estudiar después del parto, lo que puede reducir sus oportunidades laborales futuras y generar un ciclo que se transmite de una generación a otra: menor escolaridad → menores oportunidades de empleo e ingresos → mayor vulnerabilidad social → mayor riesgo para la siguiente generación (Figura 3).

La evidencia señala que el embarazo adolescente es tanto causa como consecuencia de la desigualdad social [2], [7]. Por ello, sus efectos no se limitan a la adolescente y su familia, sino que también repercuten en las comunidades y en la sociedad.



Figura 3. Ciclo que puede repetirse entre generaciones.

¿Por qué persiste el problema?

A pesar de programas nacionales como la Estrategia Nacional para la Prevención del Embarazo en Adolescentes (ENAPEA) [7], todavía persisten desafíos como la desigualdad, la estigmatización dentro de los servicios de salud, la participación limitada de los varones adolescentes y las brechas en educación sexual integral.

La prevención también depende de cómo se forma a los profesionales de la salud, ya que un enfoque centrado únicamente en los aspectos clínicos es insuficiente. Es necesario incorporar elementos como:

- La comunicación empática.
- La educación preventiva.
- La comprensión de los determinantes sociales, es decir, las condiciones económicas, sociales y del entorno que influyen en la salud.
- El trabajo comunitario.

Sin duda, la incorporación de estos aspectos en la formación de los profesionales de la salud puede funcionar como una herramienta eficaz de transformación social.

¿Qué funciona según la evidencia?

No existe una solución única, pero sí intervenciones basadas en evidencia que pueden contribuir a prevenir el embarazo adolescente [4], [8] (Figura 4).



Figura 4. No existe una solución única, pero sí intervenciones basadas en evidencia.

El embarazo adolescente no es simplemente un problema médico. Es un reflejo de las desigualdades sociales, educativas y económicas. Cuando faltan oportunidades, información clara y acceso a servicios, el riesgo aumenta.

Prevenir el embarazo adolescente no significa señalar a las jóvenes, sino ofrecerles condiciones reales para decidir su futuro. La ciencia ya nos ha mostrado el camino. El desafío es convertir ese conocimiento en acción.

Conclusión

La historia de María representa la realidad de muchas adolescentes, pero no tiene por qué definir su futuro. El embarazo adolescente no depende de una sola decisión ni tiene una causa única: se relaciona con la desigualdad, el abandono escolar, la falta de información y las dificultades para acceder a servicios de salud y métodos anticonceptivos.

Prevenirlo no significa juzgar o responsabilizar únicamente a las y los adolescentes. Significa escucharlos, brindarles educación sexual clara, facilitarles servicios de salud respetuosos y confidenciales e involucrar a las familias, las escuelas y las comunidades.

La evidencia muestra que el ciclo de desigualdad puede romperse. Cuando una adolescente encuentra información, apoyo y oportunidades para continuar estudiando y construir su proyecto de vida, no solo cambia su presente: también puede transformar el futuro de la siguiente generación.

Referencias

[1] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), “Teenage fertility rates,” OECD Data, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.oecd.org/es/data/indicators/fertility-rates.html>.

[2] M. Varmaghani et al., “The prevalence of adolescent pregnancy and its associated consequences in the Eastern Mediterranean region: A systematic review and meta-analysis,” *Reproductive Health*, vol. 21, p. 113, 2024. doi: <https://doi.org/10.1186/s12978-024-01856-4>.

[3] E. Serván-Mori, A. D. Quezada-Sánchez, S. G. Sosa-Rubí, I. Heredia-Pi, and R. Lozano, “Intergenerational replication of teenage pregnancy and educational attainment in Mexico,” *Archives of Sexual Behavior*, vol. 51, no. 8, pp. 4023–4034, Nov. 2022. doi: <https://doi.org/10.1007/s10508-022-02309-4>.

[4] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), International Technical Guidance on Sexuality Education. Paris, France: UNESCO, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260770>.

[5] I. Yakubu and W. J. Salisu, “Determinants of adolescent pregnancy in sub-Saharan Africa: A systematic review,” *Reproductive Health*, vol. 15, no. 1, p. 15, 2018. doi: <https://doi.org/10.1186/s12978-018-0460-4>.

[6] World Health Organization (WHO), “Adolescent pregnancy fact sheet,” 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/adolescent-pregnancy>.

[7] Consejo Nacional de Población (CONAPO), Estrategia Nacional para la Prevención del Embarazo en Adolescentes. México: CONAPO, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://enapea.segob.gob.mx/>.

[8] V. A. Fonner, K. S. Armstrong, C. E. Kennedy, K. R. O'Reilly, and M. D. Sweat, “School based sex education and HIV prevention in low- and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis,” *PLoS ONE*, vol. 9, no. 3, p. e89692, 2014. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089692>.

[9] M. M. Rahman et al., “Maternal anemia and risk of adverse birth and health outcomes in low- and middle-income countries: Systematic review and meta-analysis,” *The American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 103, no. 2, pp. 495–504, Feb. 2016. doi: <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.107896>.

[10] T. Ganchimeg et al., “Pregnancy and childbirth outcomes among adolescent mothers: A World Health Organization multicountry study,” *BJOG: An International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, vol. 121, Suppl. 1, pp. 40–48, Mar. 2014. doi: <https://doi.org/10.1111/1471-0528.12630>.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO



SALUD MENTAL

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 3, julio-septiembre 2026
<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.03.men.01>
e0403MEN01

CIENCIA VITAL
Revista de Divulgación Científica de la UACJ
ISSN: 2657-0944

El mito de las personalidades múltiples: una historia de novela

Juan Carlos O'Farrill-Jiménez¹
Erick Vietnam Ibáñez-Martínez²



¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez <https://orcid.org/0000-0003-2389-7466> juan.ofarrill@uacj.mx

² Universidad Autónoma de Ciudad Juárez <https://orcid.org/0000-0002-8114-9274>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

RESUMEN

La idea de que varias personalidades pueden habitar un mismo cuerpo ha fascinado durante décadas a la literatura y al cine, pero ¿qué dice realmente la ciencia? Este artículo explora el origen de ese mito, desde el célebre caso de Sybil hasta sus representaciones en la cultura popular, y lo contrasta con los conocimientos actuales sobre el trastorno de identidad disociativo. A través de la historia clínica, la psicología y la neurociencia, se explica cómo algunas personas pueden experimentar alteraciones en la continuidad de su identidad, sus recuerdos y su percepción de sí mismas. Estas experiencias pueden relacionarse con situaciones traumáticas, aunque sus causas y mecanismos aún se investigan. Lejos de representar la existencia de varias personas independientes en un solo cuerpo, el trastorno permite comprender la complejidad de los procesos que integran nuestra experiencia personal. El texto invita a distinguir entre ciencia y ficción, a reducir los estigmas asociados con la salud mental y a reflexionar sobre nuestro profundo deseo de comprender quiénes somos.

Introducción

La cultura popular no ha logrado —habría que preguntarse siquiera si lo intentó— resistir a la fascinación que supone la idea de las personalidades múltiples. En tiempos de castillos y señores se hablaba de posesiones demoníacas; mientras que, en la modernidad, un mito se ha ido abriendo paso del diván a la literatura y de esta al celuloide: varias mentes pueden habitar a un mismo individuo. Alguien dividido entre luces y sombras propias parece escapar de vez en cuando de sí mismo, y a la vez quedar atrapado entre diversas intermitencias.

En El club de la pelea, un oficinista anónimo se consume en la sordidez de la violencia hasta descubrir que el amigo que había sacado su vida del tedio es la otra parte que habita su cuerpo sin que él sea capaz de percatarse. Pero El club es solo un eco lejano del origen. Sybil había marcado el verdadero punto de inflexión muchas décadas antes: un diagnóstico controvertido, una novela y la alusión a la Grecia que nos legara tantas metáforas; una combinación irresistible.

La neurociencia, sin embargo, tiene otra historia que contarnos. Por más que deseemos ser muchos a la vez, nuestra experiencia de identidad es más compleja de lo que parece. Compartir el cuerpo con un otro podría librarnos de esa soledad congénita con que llegamos, y con que vamos a marcharnos de este mundo. Pero el anhelo es más poético que científico. En este breve artículo pretendemos entender cuánto de ficción y cuánto de ciencia hay en esta historia que, desde hace ya varios siglos, ronda nuestras fantasías.

El nacimiento de un mito

Shirley Ardell Mason se acostó por primera vez —y seguiría haciéndolo por los próximos once años— en el diván de algún anónimo estudio en Nueva York, a mediados de la década de 1950. Detrás del espaldar no estaba sentado ningún vienes heredero del romanticismo germánico, sino una psiquiatra neoyorquina llamada Cornelia Wilbur. Las quejas de la paciente giraban en torno a la ansiedad, como solían hacerlo las de cada vez más pacientes, pero también habló de lapsos de memoria y de una irrealidad persistente que cada día la llevaba a dudar de su cordura. Para Wilbur, los signos hablaban de uno de los diagnósticos más misteriosos hasta entonces incluidos en los manuales: el “trastorno de personalidad múltiple”, que en el caso de Mason implicaba más de dieciséis identidades diferentes.

Primero notas de archivo, luego una novela y, por último, una película. El nombre de Shirley fue transmutado en Sybil: alusión al oráculo, a las múltiples voces que brotan de un cuerpo. La historia estaba llena de magnetismos que arrastraban la atención incluso de los menos curiosos [1]. Una mujer traumatizada, el resultado de una infancia llena de maltratos, se había defendido de la locura más profunda desarrollando otras personalidades, cada una sin más noticias de la



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

otra que el leve regusto que dejan los sueños y algún que otro déjà vu —la sensación de haber vivido antes una situación— mal censurado. A veces era una niña temerosa, otras una adolescente rebelde; los mejores días, una mujer racional.

Sin embargo, detrás del efectismo vino cierto desencanto. Hay quien dice que la realidad siempre supera la ficción, pero también quien afirma que la cruda realidad se parece a veces a un desierto donde la única agua posible es la de los espejismos. Varias décadas después, una periodista metió sus narices por todas partes. No es difícil imaginarla —cual personaje cliché— con una pipa y una lupa, indagando en cartas, notas clínicas y concluyendo lo que, de pronto, podía tornarse elemental, míster Watson: a veces, no pocas, Shirley había fingido. Dependía emocionalmente de su terapeuta, consumía barbitúricos —medicamentos sedantes que pueden producir dependencia— y se llegó a sentir presionada. Lo peor no era que la propia paciente, en los documentos, se hubiera retractado de algunos de sus testimonios, sino que la investigación periodística cuestionó la existencia de pruebas suficientes para corroborar los abusos traumáticos y las dieciséis identidades descritas [2].

De cualquier modo, la cultura popular y las verdades científicas o forenses suelen ser trenes que viajan por caminos paralelos y que solo se cruzan de extrañas y muy convenientes maneras. En los años ochenta, los hospitales de Estados Unidos registraron un aumento de casos diagnosticados como personalidad múltiple. Traumas efectistas y otros tristemente reales poblaron más historias clínicas de las que era fácil imaginar. Cuánto había de realidad y cuánto de anhelo en todo aquello es difícil saberlo. El mito, de cualquier forma, ya había nacido.

De la novela al microscopio: el yo bajo el lente científico

Más allá de Hollywood, la posibilidad de un yo quebrado en varios fragmentos tiene sus raíces en la clínica de algunos de los psiquiatras más talentosos de la modernidad. En el científicamente optimista siglo XIX, una enfermedad se atrevió a desafiar el raciocinio y las certezas de los galenos. La histeria, término histórico que agrupaba síntomas físicos y psicológicos de distintas causas, se resistía a ser comprendida como una dolencia común, hasta que Jean-Martin Charcot contribuyó a demostrar que podían existir síntomas físicos sin una lesión orgánica aparente y que las mujeres ciegas, paráliticas o amnésicas internadas en el Hospital de la Salpêtrière no eran simples simuladoras [3]. Su discípulo, Pierre Janet, fue un poco más allá: la histeria no solo era una afección funcional del sistema nervioso, sino un problema de integración psíquica, es decir, de la capacidad de reunir pensamientos, recuerdos y experiencias en una vivencia coherente [4], como si piezas destinadas a estar juntas permanecieran separadas, como un archipiélago que se extiende a través del océano.

Unos años después, en medio de la revolución científica que había iniciado otro de los discípulos de Charcot —sí, claro, ese apellidado Freud—, Morton Prince, un psiquiatra estadounidense que, si bien se mostraba escéptico respecto al psicoanálisis, conocía a la perfección las ideas europeas sobre la disociación, publicó *The Dissociation of a Personality* [5]. En dicha obra relató el caso de “Sally Beauchamp”, una paciente que, como Shirley, parecía fluctuar de una identidad a otra. Prince, a diferencia de Wilbur, no creía que se tratase de varias personas, sino de una sola conciencia dividida. Pero su libro fue la materia prima de una fantasía que las personas hicieron suya y que varias décadas después resonó con toda su fuerza en el nombre de Sybil.

Las clasificaciones contemporáneas han intentado nombrar el fenómeno de distintas maneras. Trastorno de personalidad múltiple fue la elección durante cierto tiempo. Sin embargo, en la actualidad, tanto la versión revisada de la quinta edición del Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales (DSM-5-TR) como la undécima edición de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-11) utilizan el menos efectista —y, a nuestro entender, más preciso— nombre de trastorno de identidad disociativo (TID). Este último implica dos o más estados de identidad, acompañados de discontinuidad del sentido de sí mismo y, de acuerdo con los crite-



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

rios diagnósticos, alteraciones de la memoria que pueden incluir lagunas [6]. Pero, yendo más allá de las clasificaciones, lo que verdaderamente deseamos mostrar es el modo en que la ciencia ha cuestionado la ilusión cinematográfica de muchas personas independientes habitando un mismo cuerpo.

Los trastornos disociativos —antes incluidos, en parte, bajo el término de histeria— en general, y el TID en particular, se han asociado con experiencias traumáticas, aunque sus causas y mecanismos siguen siendo objeto de investigación. Teniendo eso en cuenta, es fácil pensar que la neurociencia del trauma tiene cosas que decirnos al respecto. Examinemos en particular el modo en que reaccionan tres estructuras o conjuntos de regiones ante este tipo de sucesos: la corteza cingulada anterior, involucrada en la regulación emocional y otros procesos cognitivos; el hipocampo, importante para organizar los recuerdos autobiográficos; y las regiones sensorio-motoras, donde se procesan sensaciones corporales y se prepara la respuesta motora.

Una práctica habitual en neurociencias para comprender lo que ocurre durante el recuerdo de eventos traumáticos es observar imágenes del cerebro mediante una técnica llamada resonancia magnética funcional, que permite estudiar cambios en la actividad cerebral a partir de variaciones en el flujo sanguíneo. En un estudio publicado en 2005 en *Biological Psychiatry*, Lanius y colaboradores investigaron la conectividad funcional —la relación entre la actividad de distintas regiones cerebrales— durante respuestas disociativas en personas con trastorno por estrés postraumático (TEPT), una condición que puede aparecer después de experimentar o presenciar acontecimientos traumáticos [7]. Sus resultados aportaron evidencia sobre alteraciones en la coordinación de redes cerebrales relacionadas con la experiencia disociativa.

Estos hallazgos sugieren que, en determinadas circunstancias, el cerebro puede procesar experiencias y reaccionar sin integrarlas de la manera habitual en una historia coherente. El sujeto puede experimentarse fragmentado en cada reacción, como si algo dificultara unir los pequeños pedazos del enorme rompecabezas que él mismo es. Esto no justifica pensar en múltiples personas independientes; si acaso, nos hace ver a una persona que podría estar defendiéndose del dolor a través de la ruptura de sus puentes. Algo que recuerda a lo que pensaba Janet, y con muy pocos puntos de contacto con las versiones más efectistas llegadas desde el cine.

Los muchos rostros del yo

Dentro de las aproximaciones psicodinámicas, que estudian cómo los procesos emocionales y las experiencias tempranas influyen en la vida mental, la moderna teoría de las relaciones de objeto ofrece una explicación complementaria. Melanie Klein, pionera de la terapia de juego y quien dedicó gran parte de su trabajo a comprender la mente de los niños muy pequeños, planteó la hipótesis de que la mente infantil no nace integrada. En los primeros meses, el bebé no interactúa con su madre como una persona completamente integrada, sino que, según esta teoría, experimenta aspectos parciales de ella —objetos parciales— que metafóricamente han quedado fijados como “el pecho bueno” y “el pecho malo”: una madre que alimenta y otra que no logra llegar siempre a tiempo, aun si es “suficientemente buena” [8].

A la vez, el bebé se percibe, saciado y hambriento, como dos estados distantes de sí mismo, casi como si fuese dos bebés diferentes. Ambas imágenes —la del otro y la suya propia— solo se irán integrando con el paso del tiempo, de acuerdo con esta perspectiva, aunque las experiencias traumáticas pueden dificultar ese proceso.

Philip Bromberg, estudioso contemporáneo de la disociación, retoma esta idea y propone que todos somos múltiples. Cada vivencia implica un particular “estado del self”, es decir, una forma de experimentarnos a nosotros mismos en un momento determinado [9]. Discutir con tu pareja trae a colación una determinada visión de ti y de la otra persona, muy diferente a la que emerge cuando, satisfecho, compartes un café y preguntas si le gusta la melodía de fondo. En la salud mental, el enojado y el amante aparecen sin ruptura: mientras discuto, no olvido que amo a esa persona, y eso me permite no destruirla. En la enfermedad disociativa, tales puentes pueden verse afectados.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

Algo parecido sugiere la psicología social. La identidad se conforma en función de los roles sociales, pero esos roles cambian durante el día: hijo, pareja, maestro, terapeuta. Una suerte de continuidad los vincula. Mientras soy padre puedo recordarme maestro, aunque no me comporte igual; y tal vez uno y otro, sin perder sus límites, se contaminen un poco [10]. Ambos recuerdan el olor del chocolate en la infancia y el enorme tamaño de aquellos aguacates que siempre traía el abuelo.

Es como Teseo y su barco: por más que cambien las tablas, sigue siendo el mismo. Si esa narrativa de recuerdos se altera —y ya hemos visto que ciertas experiencias traumáticas pueden afectarla—, entonces el vacío es la tierra fértil para el mito de la multiplicidad de personalidades.

Las redes del yo

La neurociencia moderna, a su vez, ilumina de forma fascinante estos procesos. Tres grandes redes cerebrales participan en funciones relacionadas con la experiencia del yo, interactuando unas con otras como en una íntima y precisa coreografía.

Cuando soñamos despiertos o recordamos los más recónditos sucesos de nuestra infancia, cuando nada nos perturba, en ese momento en que solo dejamos que el mundo siga girando en un impreciso punto del universo, suele aumentar la actividad de la red de modo por defecto (DMN, por sus siglas en inglés), un conjunto de regiones cerebrales que participa en procesos como el recuerdo autobiográfico y la reflexión sobre uno mismo, y que contribuye a tender los puentes de nuestra historia personal [11].

A su vez, en el momento en que algún estímulo merece ser atendido, la red de saliencia (SN, por sus siglas en inglés), encargada de detectar y priorizar estímulos relevantes, comprende que ha llegado su turno de entrar al baile. A través de los circuitos neuronales que la integran, participa en la identificación de aquello que merece nuestra atención, incluidos los estímulos emocionalmente importantes. Es una parte de nosotros que ayuda a orientar qué atendemos y qué queda en segundo plano [12].

Por último, a la hora de actuar, de ser quienes somos cuando imprimimos el sello propio a nuestras obras cotidianas, entra en juego la red ejecutiva central (CEN, por sus siglas en inglés). Ella participa en la planificación, la organización y el control de acciones dirigidas a objetivos [13]. Nos permite ser agentes, o, como dice la vox populi, arquitectos de nuestro destino.

Si estas redes interactúan de manera coordinada, contribuyen a mantener una experiencia de continuidad. Pero cuando su funcionamiento se altera, algunos procesos pueden dejar de integrarse de la manera habitual. El continente se divide en islas. Una persona puede experimentar sus acciones como si un otro tomase el control: el relato autobiográfico puede no estar disponible para conectar los pedazos ni para reunir los hechos que formarán futuros recuerdos. Así, no es necesario suponer que alguien invade desde afuera o habita a tu lado entre la sangre y las conexiones que te forman. Pero verte como una sola persona es, en parte, el resultado de procesos que funcionan de manera integrada, más que un don que se nos entrega para siempre y sin esfuerzos. Algo que, por su fragilidad, debe ser en extremo valorado.

Conclusiones

En algún punto de su ensayo La verdad de las mentiras, el Premio Nobel peruano Mario Vargas Llosa afirma que las novelas mienten, pero que, en lo más recóndito de esa mentira, esconden una verdad palpitante. Ello sucede, justamente, porque las novelas —la ficción en general— no nos presentan tal y como somos, sino del modo en que hemos soñado ser.

Si eso, de alguna manera, es cierto, en el caso de las personalidades múltiples hay mucho que aprender: no solo de lo científico, sino también de la parte que corresponde a una suerte de mito moderno.

Lo que la ciencia nos dice es que nuestra experiencia de identidad depende de diversos procesos que deben integrarse a lo largo de la vida para permitirnos sentirnos uno, a pesar de



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

ser arrastrados por múltiples y contradictorias pasiones. Lo que no cuenta el mito, a su vez, es que, aun habiéndolo logrado, nos sentimos insatisfechos. Y si, al final de la tarde, corremos al cine a ver a Sybil o a quienes combaten en El club de la pelea, es porque esas fantasías terminan rellenando los serpenteantes resquicios de nuestra inconformidad.

De cualquier manera, separar el trigo de la paja implica seguir a la ciencia en su luz, sin dejar por ello de disfrutar la fantasía, a condición de no olvidarnos nunca de que lo es. Solo así, entre la razón y el mito, seguimos buscándonos.

Referencias

Referencias

[1] F. R. Schreiber, Sybil. New York, NY, USA: Henry Regnery Company, 1973. Disponible en: <https://www.worldcat.org/search?q=Sybil+Flora+Rheta+Schreiber+1973>

[2] D. Nathan, Sybil Exposed: The Extraordinary Story Behind the Famous Multiple Personality Case. New York, NY, USA: Free Press, 2011. Disponible en: <https://www.simonandschuster.com/books/Sybil-Exposed/Debbie-Nathan/9781439168288>

[3] J.-M. Charcot, Leçons du mardi à la Salpêtrière, vol. 1. Paris, France: Auxbureaux du Progrès médical, 1892. Disponible en: <https://archive.org/search?query=Charcot+Le%C3%A7ons+du+mardi+%C3%A0+la+Salp%C3%AAtre%C3%A8re>

[4] P. Janet, État mental des hystériques: les stigmates mentaux. Paris, France: Ancienne Librairie Germer Baillière et Cie, 1911. Disponible en: <https://archive.org/search?query=Pierre+Janet+%C3%89tat+mental+des+hyst%C3%A9riques>

[5] M. Prince, The Dissociation of a Personality: A Biographical Study in Abnormal Psychology. London, UK: Longmans, Green, 1925. Disponible en: <https://archive.org/search?query=Morton+Prince+The+Dissociation+of+a+Personality>

[6] American Psychiatric Association, Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th ed., text rev. Washington, DC, USA: American Psychiatric Association Publishing, 2022. doi: <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425787>

[7] R. A. Lanius et al., “Functional connectivity of dissociative responses in posttraumatic stress disorder: A functional magnetic resonance imaging investigation,” Biological Psychiatry, vol. 57, no. 8, pp. 873–884, 2005. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.01.011>

[8] M. Klein, “Notes on some schizoid mechanisms,” The Journal of Psychotherapy Practice and Research, vol. 5, no. 2, pp. 160–179, 1996. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3330415/>

[9] P. M. Bromberg, “Standing in the spaces: The multiplicity of self and the psychoanalytic relationship,” Contemporary Psychoanalysis, vol. 32, no. 4, pp. 509–535, 1996. doi: <https://doi.org/10.1080/00107530.1996.10746334>

[10] H. Tajfel, Social Identity and Intergroup Relations. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2010. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/search?q=Social%20Identity%20and%20Intergroup%20Relations%20Tajfel>

[11] E. B.-S. Martín, F. Sáez-Delgado y N. Lepe-Martínez, “El rol predictivo de la red neuronal por defecto sobre la atención sostenida en edades escolares: una revisión sistemática,” Revista Chilena de Neuro-Psiquiatría, vol. 61, no. 1, pp. 87–97, 2023. doi: <https://doi.org/10.4067/S0717-92272023000100087>

[12] P. S. Durán, “Alteración de la red de saliencia en el trastorno por estrés postraumático. Una revisión sistemática,” Revista Iberoamericana de Neuropsicología, vol. 5, no. 1, p. 30, 2022. Disponible en: <https://neuroplataforma.com/wp-content/uploads/pdf/revista/vol5-2022/vol5-n1-4-2022.pdf>

[13] U. León-Domínguez y J. León-Carrión, “Modelo neurofuncional de la conciencia: bases neurofisiológicas y cognitivas,” Revista de Neurología, vol. 69, no. 4, pp. 159–166, 2019. doi: <https://doi.org/10.33588/rn.6904.2019072>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO