

AZCATL

Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

Año 2. Número 3. Julio-diciembre 2024, DOI: [10.24275/AZC20243B](https://doi.org/10.24275/AZC20243B)

Dr. José Antonio De los Reyes Heredia
Rector general

Dra. Norma Rondero López
Secretaria general

UNIDAD AZCAPOTZALCO
Dra. Yadira Zavala Osorio
Rectora de Unidad

Mtro. Salvador Ulises Islas Barajas
Secretario de Unidad

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

Dra. Maricela Claudia Bravo Contreras
Secretaria académica

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

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

COMITÉ EDITORIAL
Dra. Grethell Georgina Pérez Sánchez
Presidenta

M. en C. Carlos Alejandro Vargas
Dr. César Augusto Real Ramírez
M. en C. Gerardo Aragón González
Dr. Luciano Roberto Fernández Sola

EQUIPO EDITORIAL
Mtro. Juan Manuel Galindo Medina
Diseño editorial y de cubierta

D.C.G. Lucero Esmeralda Frausto Tamayo
Diseño de cubierta

Lic. Liliana Ramírez Nuño
Corrección de estilo

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

AZCATL. Año 2, Número 3, julio-diciembre de 2024, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Prolongación Canal de Miramontes 3855, col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, alcaldía Tlalpan, C.P. 14387, Ciudad de México, México, y, av. San Pablo 420, col. Nueva El Rosario, alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02128, Ciudad de México, México; tel. 55 5318 9528, página electrónica de la revista <https://azcatl.arc.uam.mx/> y dirección electrónica: geps@azc.uam.mx. Editor responsable: Dra. Grethell Georgina Pérez Sánchez. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título núm. 04-2023-050317153000-102, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Dra. Grethell Georgina Pérez Sánchez, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Unidad Azcapotzalco, edificio P, primer piso, av. San Pablo 420, col. Nueva El Rosario, alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02128, Ciudad de México, México; Fecha de última modificación: 31 de diciembre de 2024. Tamaño del archivo 6.9 MB.

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

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

Imagen de cristales en cubierta
Modificado de *Resumen vaso holográfico cristal ai generado* [Ilustración], por Ai Graphic, s.f., Vecteezy (<https://es.vecteezy.com/foto/24495992-resumen-vaso-holografico-cristal-ai-generado>).

Tabla de contenidos

Editorial	1
<i>El láser He-Ne, ciencia y tecnología</i>	3
Armando Gómez Vieyra	
Hugo Enrique Ibarra Villalón	
<i>La ética y la inteligencia artificial</i>	10
Clara Julieta Mora Gutiérrez	
<i>Herramientas digitales en la educación</i>	13
Alma Refugio Flores Ponce	
<i>La importancia del problema de ruteo de vehículos (VRP) en la industria de la última década</i>	18
Roberto García Aguirre†	
Roman Anselmo Mora Gutiérrez	
Edwin Montes Orozco	
<i>Nanotecnología en la agricultura: Innovación para la producción sostenible de alimentos</i>	23
Nicol Edith Navarro López	
Aleida Montserrat González Torrez	
Arlett Esmeralda Pérez Pérez	
Nicolás Morales Mazariego	
Magín González Moscoso	
<i>Heteroestructuras de materiales 2D: Abriendo caminos en la nanotecnología del futuro</i>	28
Selene Concepción Acosta Morales	
<i>Contaminantes emergentes: el costo ambiental de la salud</i>	34
Selene Irisais Rivera Hernández	
Jorge Iván Aldana González	
<i>Del borde a la frontera: Recuento de diálogos inconclusos entre las disciplinas básicas y sociales</i>	38
Roberto Rivera Pérez	

Editorial

Bienvenidas y bienvenidos al número tres de *Azcatl*, revista de divulgación, ciencias, ingeniería e innovación. Es un placer presentar esta nueva edición que resulta del trabajo conjunto del comité y equipo editorial, así como de quienes han ofrecido sus textos para ser divulgados en este medio. En los siguientes párrafos se da un breve recorrido por el contenido de esta tercera edición.

En nuestro primer artículo, «El láser He-Ne, ciencia y tecnología», los autores nos llevan por la evolución histórica del desarrollo del láser de helio-neón y la participación que tuvo el grupo de óptica de la UNAM en el desarrollo tecnológico de este tipo de láseres.

En el segundo artículo, «La ética y la inteligencia artificial», se expone un análisis y reflexión sobre la importancia de la ética en el uso de la inteligencia artificial (IA), asimismo, se refieren los elementos necesarios para considerar la IA en un marco ético y social, resaltando su utilización en el ámbito educativo.

Posteriormente, en «Herramientas digitales en la educación», la autora brinda una serie de propuestas y opciones a los profesores para romper la brecha digital con sus alumnos en la impartición de clases, ante una nueva generación que ha crecido tanto con nuevas tecnologías digitales como con nuevas formas de comunicación.

Los autores, en el cuarto artículo, «La importancia del problema de ruteo de vehículos (VRP) en la industria de la última década», describen el problema de optimización del ruteo de vehículos (VRP) en la industria, realizando una revisión de la evolución en los últimos años para examinar cómo este problema se ha adaptado a las necesidades de hoy, considerando vehículos verdes (EVRP) y vehículos con drones (VRPD).

En el siguiente trabajo, «Nanotecnología en la agricultura: Innovación para la producción sostenible de alimentos», se presenta la importancia del uso

de la nanotecnología en la agricultura tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo, siendo ésta utilizada en el mejoramiento de la eficiencia y la sostenibilidad de la producción de alimentos.

Para el sexto artículo, «Heteroestructuras de materiales 2D: Abriendo caminos en la nanotecnología del futuro», la autora muestra la evolución de los nanomateriales bidimensionales 2D para crear heteroestructuras 2D-2D que permiten el desarrollo de dispositivos avanzados, aprovechando las ventajas en las propiedades electrónicas, ópticas y mecánicas que tienen estos nanomateriales.

En la penúltima contribución, «Contaminantes emergentes: el costo ambiental de la salud», los autores resaltan la situación medioambiental del desecho incorrecto de medicamentos, brindando sugerencias para la reducción de esta problemática.

En el último artículo, «Del borde a la frontera: Recuento de diálogos inconclusos entre las disciplinas básicas y sociales», se exponen nuevos paradigmas que proponen metodologías interdisciplinarias y transdisciplinarias en la investigación, haciendo posible observar un fenómeno desde distintas perspectivas. Asimismo, se presentan ejemplos de similitud entre conceptos de modelos, estructuras y sistemas de ciencias básicas y ciencias sociales.

Como se puede notar, las temáticas incluidas en este ejemplar son heterogéneas, lo que las vuelve más interesantes. De igual manera, los autores pertenecen a diferentes instituciones e incluso, algunos, son alumnos de posgrado. Ésto muestra la riqueza de los temas que se publican en nuestra revista. Sirva esto de motivación para que los investigadores continúen aportando sus conocimientos y el equipo de *Azcatl* siga trabajando para divulgar la ciencia, la ingeniería e innovación.

Comité editorial

Azcatl

Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

A large, abstract graphic in the background consists of numerous thin, light-gray geometric shapes—triangles, rectangles, and irregular polygons—arranged in a circular, radiating pattern from the center of the page.

El láser He-Ne, ciencia y tecnología

Armando Gómez Vieyra

Universidad Autónoma Metropolitana,

Unidad Azcapotzalco

agvte@azc.uam.mx

Hugo Enrique Ibarra Villalón

Universidad Autónoma Metropolitana

heiv@azc.uam.mx

Resumen

Este trabajo presenta una revisión histórica del desarrollo del láser He-Ne (helio-neón), el cual es un dispositivo usado tradicionalmente en la vida académica de los estudiantes de ciencias e ingeniería a nivel licenciatura, donde se expone cómo a partir de una idea teórica derivada de una investigación en ciencia básica, el desarrollo del primer máser (del inglés *microwave amplification by stimulated emission of radiation*) evoluciona a un dispositivo que cambió completamente la ciencia y la tecnología. Asimismo, se pretende enfatizar que la ciencia básica no puede avanzar sin el apoyo de la ingeniería, así como la tecnología no se puede crear sin la ciencia básica.

Palabras clave

Láser, desarrollo e ingeniería.

Abstract

This work presents a historical review of the development of the He-Ne laser, which is commonly used in the academic life of undergraduate students, which reflects how a theoretical idea derived from basic science research (the first maser) evolved into a device that completely changed science and technology. It is emphasized that basic science cannot progress without the support of engineering, just as technology cannot be developed without basic science.

Keywords

Laser, development, engineering.

APA: Gómez, A e Ibarra, H. E. (2024). El láser He-Ne, ciencia y tecnología. *Azcatl*, 3, 3-9. DOI: [10.24275/AZC2024B001](https://doi.org/10.24275/AZC2024B001)

Introducción

En algún momento todos hemos oido hablar del láser (por sus siglas en inglés, cuya traducción es amplificación de luz por emisión estimulada de radiación), principalmente por las increíbles fábulas del cine como la franquicia de ciencia ficción Star Wars, la cual sigue vigente hasta nuestros días y se puede ver en el servicio de reproducción de prepago de Disney®; sin embargo, la idea y conceptos mostrados en esta serie no son los más adecuados para entender estos dispositivos que han cumplido más de 60 años de existencia.

Un relato histórico bastante detallado de la evolución de los máseres (término aceptado en español del inglés masers) y su paso natural al desarrollo de los láseres fue presentado en 1976 por Arthur Shawlow en la revista *IEEE Transactions on Electron Devices*.

Por otro lado, el artículo de Ibarra, Pottiez y Gómez (2018) «El camino hacia la luz láser» brinda una explicación bastante accesible del funcionamiento de un máser (cuya traducción es amplificador de microondas por emisión estimulada de radiación) y un láser, además de exponer los principios físicos que hacen posible la emisión de éstos, describiendo la inversión de población en un sistema de tres niveles de energía. Asimismo se ilustra la arquitectura y operación de la cavidad del láser de rubí y, adicionalmente, se describe la línea de tiempo desde la emisión estimulada propuesta por Albert Einstein hasta la invención del láser, pasando por todos los avances en ciencia básica (teórica y experimental) y tecnología que dieron pie a la construcción de este dispositivo. En particular, en esta revisión cronológica se destaca que el dispositivo precursor de los láseres fue el primer máser de amoníaco funcional construido por Townes, Gordon y Zeiger en 1954; al mismo tiempo, con algunos meses de diferencia, otro máser fue desarrollado por los rusos Prokhorov y Basov, aclarando que ambos grupos de investigación trabajaron independientemente.

Desarrollo del láser helio-neón

En el mundo en que vivimos es bien sabido que el desarrollo científico y tecnológico no se puede detener. En 1958, los físicos Schawlow y Townes plantearon la idea de

construir el primer máser emitiendo en la región del visible e infrarrojo, actualmente conocido como láser. Sin embargo, esto se logró hasta 1960 por Theodore Maiman, quien construyó el láser de rubí ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}$) en los laboratorios de investigación de Hughes, en Malibú, California. Como resultado de estos trabajos, en diversos laboratorios de empresas privadas y en universidades se llevaron a cabo investigaciones y el desarrollo de diversos tipos de láseres que hoy en día se emplean en diferentes ramas de la ciencia y la tecnología.

En la actualidad los láseres son de diodo y tienen una potencia óptica pequeña (pero que puede ocasionar daños a las estructuras oculares del ojo), un ancho de banda regularmente mayor a 5 nm y su longitud de coherencia es mínima. Se trata de dispositivos versátiles y accesibles que se consiguen en mercados y tiendas de autoservicio con un costo equivalente a un dólar. Por lo general se utilizan como apuntadores, aunque muchos niños, así como algunos adultos inconscientes, los usan indebidamente como juguetes. Existen diversos tipos de láseres, entre éstos se encuentran los láseres de dióxido de carbono (CO_2) que son ampliamente usados en la industria para el corte de piezas metálicas, plásticos, piel y otros; los láseres excímeros, los cuales utilizan una mezcla de gases halógenos como medio activo y son ampliamente empleados en cirugías oculares, tratamientos dermatológicos, así como en odontología; los láseres de estado sólido, tales como el granate itrio-aluminio (YAG), dopados con neodimio (Nd), o el de cristal de vanadato de itrio (YVO_4) que son parte fundamental de la industria automotriz y microelectrónica, ya que sirven para cortar, soldar y marcar materiales que pueden ser delicados o muy duros; los láseres de fibra óptica dopada de tierras raras como erbio, iterbio, neodimio, dispropasio, tulio, etcétera, son parte esencial en los sistemas automatizados de grabado y corte, comunicaciones ópticas, espectroscopía, metrología y medicina, entre otros tipos de láseres que son utilizados en diversas aplicaciones.

En la educación a nivel superior, los láseres más empleados en los procesos de enseñanza-aprendizaje son los de gas de He-Ne (Figura 1), los cuales permiten realizar experimentos de polarización, difracción e interferome-

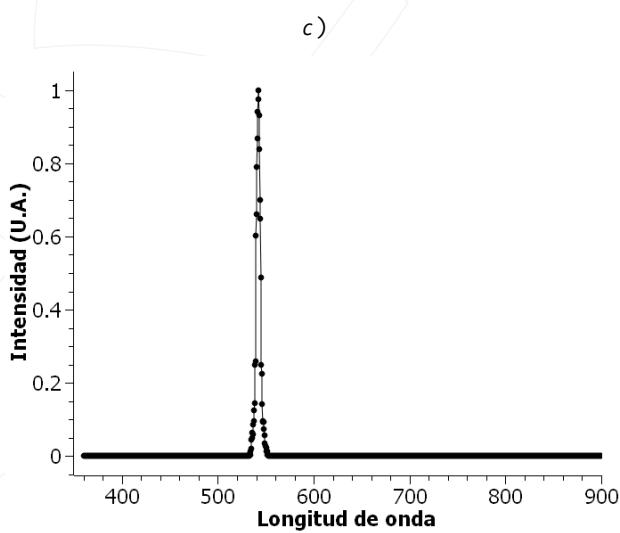
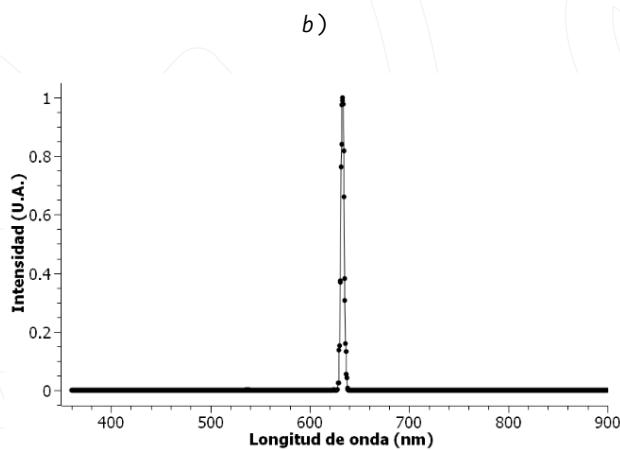
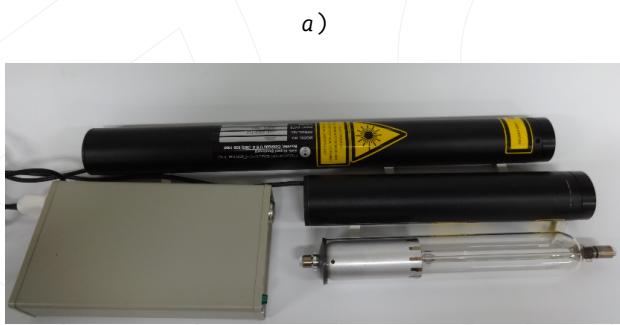


Figura 1. a) Láseres helio-neón utilizados en los laboratorios de docencia de la UAM-Azcapotzalco, b) espectro de un láser He-Ne rojo y c) espectro de un láser He-Ne verde.

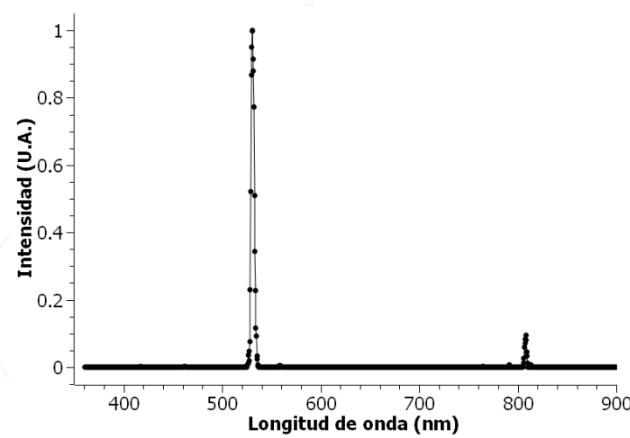
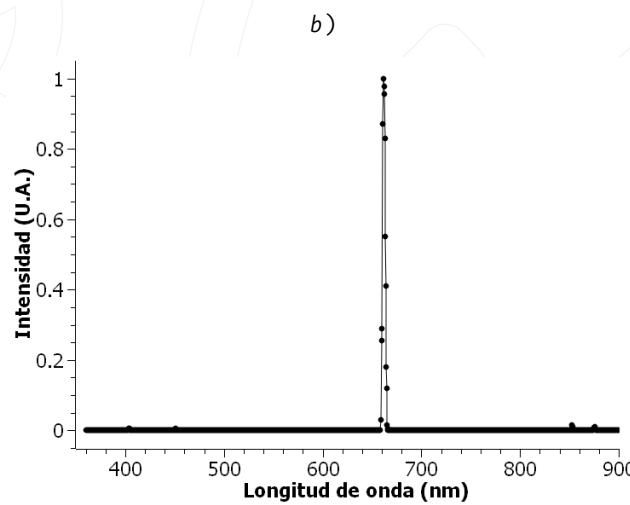


Figura 2. a) Apuntadores láser de diodo rojo y verde, b) espectro del láser de diodo rojo y c) espectro del láser de diodo verde.

tría. En dichos experimentos es importante que los láseres tengan un grado adecuado de coherencia óptica, tal como lo introducen los de He-Ne. Por consiguiente, no se puede utilizar cualquier tipo de láser en los laboratorios de docencia, como por ejemplo los láseres de diodo (ver Figura 2) pues presentan una coherencia óptica baja, la cual no es suficiente para reproducir los experimentos interferométricos. Estos láseres tienen muchas aplicaciones actuales que van desde análisis atómicos hiperfinos hasta herramientas de trazado y guía, aunque la ciencia y tecnología de estos dispositivos es discutida por los autores Hira Nasim y Yasir Jamil. No obstante, es posible que esto cambie en un futuro debido a que el empleo de los láseres de diodo se ha incrementado notablemente, ya que éstos se están utilizando en la mayoría de las aplicaciones modernas pues el costo es apreciablemente inferior con respecto a otro tipo de láseres, entre otras ventajas, sin embargo, su longitud de coherencia es muy corta.

El láser He-Ne fue el primer láser de gas, desarrollado por el físico iraní Ali Javan y sus colaboradores en los Laboratorios Bell. Para lograr este avance tecnológico, Javan ya había trabajado en el laboratorio de Townes, con quien desarrolló su trabajo doctoral (1954) y realizó una estancia posdoctoral por cuatro años, adquiriendo los fundamentos de los máseres y la espectroscopía en microondas. Cuando Javan realizaba una entrevista de trabajo en los Laboratorios Bell (abril de 1958), Arthur Schawlow (premio Nobel por el desarrollo de la espectroscopía láser), quien también trabajaba con Townes y fue uno de los primeros en predecir la posibilidad de desarrollar el láser, le mencionó por primera vez la posibilidad de desarrollar un máser en la región del visible.

A partir de octubre de 1958, Javan inició su investigación para el desarrollo de la emisión estimulada en el visible escogiendo como medio activo un gas, debido a que consideraba que sería más sencillo el estudio de los procesos físicos y que los esquemas de bombeo propuestos por Schawlow y Townes no proporcionarían la energía suficiente para lograr su objetivo. En ese momento contempló que las opciones viables eran la excitación directa de electrones (usando únicamente neón) o vía co-

lisión, esta última implicaba evaluar la combinación más apropiada entre dos gases para lograr la transferencia de energía adecuada. Javan se decidió por la segunda opción eligiendo el helio y el neón, en particular el helio como primer medio para ser excitado por un bombeo óptico, lo cual implica que una descarga de electrones introducidos por el bombeo colisionen con los átomos de helio. Posteriormente, los átomos de helio que se llegan a excitar transfieren su energía al neón a partir de colisiones entre estos dos gases, logrando la inversión de población del neón para lograr emisión láser.

Es importante destacar que la emisión de helio, producida por el decaimiento radiactivo de los átomos excitados, consiste en líneas centradas en longitudes de onda del ultravioleta y el visible, como se ilustra en la Figura 3(a), medidas obtenidas en los laboratorios de docencia de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A). Estas líneas espectrales no se utilizan en la emisión del láser He-Ne, no obstante, son útiles para excitar a los átomos de neón. Como resultado, el neón excitado por la energía transferida por el helio produce líneas espectrales de emisión centradas en el rojo e infrarrojo, tal como se ilustra en la ventana espectral del rojo en la Figura 3(b). Dentro de las líneas espectrales del neón, la emisión centrada a \sim 633 nm es la línea de emisión que más se utiliza en la operación de un láser He-Ne comercial.

Además de Javan, el británico John Sanders también había iniciado una investigación en láseres de gas, pero él eligió usar únicamente helio en estado gaseoso, el cual fue excitado mediante descargas eléctricas, y planteó realizar una cavidad de Fabry-Perot de máximo 15 cm, debido a las limitaciones de alineación. En cambio, Javan decidió determinar primero los parámetros de ganancia, por lo que consultó al espectroscopista William R. Bennett de la Universidad de Yale, quien realizó diferentes análisis de las mezclas de helio-neón para determinar la más adecuada.

En la primavera de 1959, Javan recurrió a Donald R. Herriott, quien era especialista en aparatos ópticos (ingeniero óptico), para resolver los problemas asociados al proyecto. Esto fue muy importante porque Herriott te-

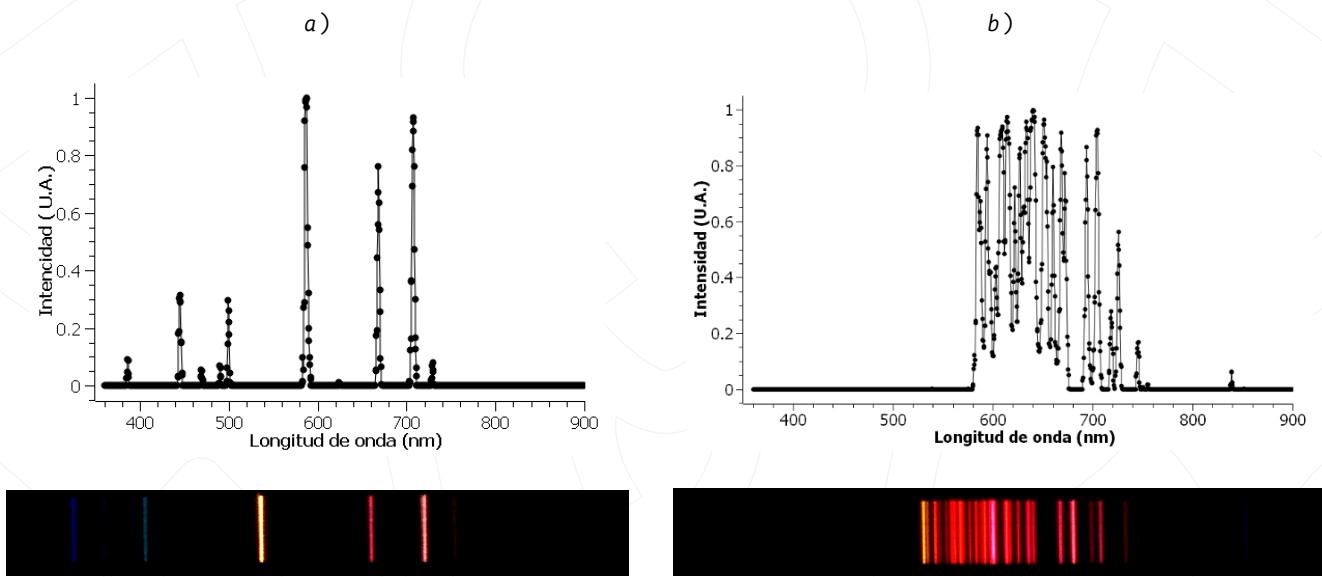


Figura 3. a) Espectro del helio y b) espectro del neón obtenidos en los laboratorios de docencia de la UAM-Azcapotzalco con un especlrómetro Spectra-1, 3B Scientific.

nía experiencia en el trabajo en las ventanas planas con el objetivo de no distorsionar la salida del haz de la cavidad de bombeo. Posteriormente, instrumentó los espejos que forman el resonador y creó la estructura para lograr la alineación adecuada del instrumento. Finalmente, desarrolló todo el arreglo experimental para medir y analizar la radiación generada. Es relevante mencionar que el trabajo en ingeniería óptica desarrollado por Herriott muestra la necesidad fundamental de una muy buena ingeniería para lograr avances tecnológicos.

Posteriormente, en septiembre de 1959, Bennett se mudó a los Laboratorios Bell, al grupo de investigación de Javan, para realizar un intenso y meticuloso trabajo en el cálculo y medición de las propiedades espectroscópicas de las mezclas de helio-neón, esto con la finalidad de determinar las condiciones que gobiernan los factores de inversión de población en el mecanismo de transferencia de energía del helio hacia el neón, lo que se discutió previamente. Los resultados de esta parte de su investigación fue que sólo el 1.5 % de la energía introducida al sistema participaba en la inversión de población, por lo que se impusieron muchas restricciones en el sistema óptico

para conseguir las mínimas pérdidas de energía en el resonador y poder lograr el objetivo del láser emitiendo en la región electromagnética de la óptica. Además, los investigadores estaban preocupados por los efectos de difracción, ya que podrían aumentar las pérdidas de energía en el dispositivo, esto basado en las ideas de Schawlow y Townes, quienes consideraron un resonador con ondas planas propagándose en su interior.

Hacia 1960, Gardner Fox y Tingye Li publicaron unos artículos fundamentales en el desarrollo de los resonadores ópticos, donde se demostró que los efectos de la difracción pueden ser despreciados. Los haces de luz pueden propagarse en distintos modos electromagnéticos y en consecuencia se planteó la necesidad de desarrollar diversas arquitecturas de los resonadores. Es necesario mencionar que Li era un especialista en programación, lo que le permitió obtener resultados en simulación computacional que analíticamente podrían ser imposibles de recabar. Actualmente, los modos de propagación de los resonadores ópticos y las fibras ópticas multimodo pueden ser calculados y visualizados empleando herramientas computacionales, bajo los principios introducidos por

Fox e implementados por Li. Generalmente, estos artículos son revisados en un curso de pregrado o posgrado en láseres.

Javan, Bennett y Herriott continuaron con el desarrollo de su dispositivo hasta lograr una primera versión, pero no funcionó como se esperaba, ya que el tubo de cuarzo que confinaba al gas se derritió debido a la fuente de bombeo que emplearon, un potente magnetrón. Por lo que tuvieron que construir un segundo prototipo, en el cual se realizaron mejoras en los espejos y mayor supervisión en el alto vacío del dispositivo. Como resultado, el 13 de diciembre de 1960 se logró detectar la radiación láser de este dispositivo en un osciloscopio; ajustaron el monocromador y encontraron un pico a $1.153\text{ }\mu\text{m}$ (infra-rojo cercano), una de las líneas de emisión esperadas. En este prototipo se tuvieron que ajustar la posición y los ángulos de los espejos para maximizar la señal de radiación, dicho prototipo se muestra en la Figura 4. Despues de este logro, la operación del primer láser de gas, se cuenta como anécdota que el grupo de investigación celebró con una botella de vino de 100 años que Javan había comprado en París.

En paralelo, White, Gordon y Rigden, en los mismos Laboratorios Bell, realizaban una investigación simultánea sobre el desarrollo de un láser emitiendo en el visible. Como resultado, en marzo de 1962, estos investiga-

dores presentaron un láser de helio-neón emitiendo a 632.8 nm y con una potencia promedio de 50 mW . Años después, los Laboratorios Bell admitieron haber invertido aproximadamente 2 millones de dólares de ese tiempo, cantidad que equivale a 20 millones de dólares actuales, en desarrollar el prototipo de Javan y colaboradores. Como un dato adicional, el tiempo de vida de los láseres de esa época era del orden de cien horas, lo que limitaba su introducción a procesos industriales e investigaciones científicas.

La carrera tecnológica por lograr mejores y más eficientes láseres impulsó su desarrollo a nivel mundial y México no fue la excepción. El grupo de óptica del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), liderado entonces por Daniel Malacara Hernández, trabajaron durante algún tiempo en el desarrollo tecnológico de este tipo de láseres He-Ne (ver Figura 5) realizando algunas aportaciones científicas y tecnológicas, así como la aplicación de estos dispositivos en la construcción de las primeras líneas del metro. En la misma época se fundaron y evolucionaron las grandes compañías estadounidenses especializadas en la fabricación de láseres, las cuales contrataron un número considerable de investigadores para realizar innovaciones y avances tecnológicos en los láseres con el objetivo de hacer rentable su comercialización.

Es muy importante enfatizar que el desarrollo de toda la tecnología moderna, en este caso los láseres de He-Ne, ha sido un esfuerzo de la investigación en ciencia básica y la aplicación de las diversas ramas de la ingeniería.

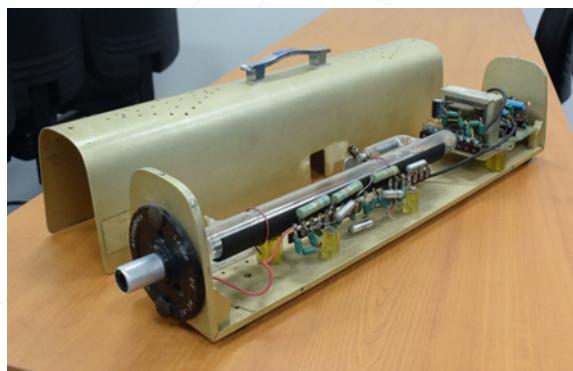


Figura 5. Láser He-Ne construido en México, entre 1968 y 1972, que actualmente se exhibe en el Museo de Óptica del Centro de Investigaciones en Óptica, A. C.
Nota. Malacara, 2024.



Figura 4. Primer prototipo de un láser funcional de helio-neón. Nota. Reproducida de National Museum of American History, 2024.

Referencias

- Bertolotti, M. (2004). *The history of the laser*. CRC Press.
- Bromberg, J. L. (1991). *The laser in America, 1950-1970*. MIT Press.
- Fox, A. G. y Li, T. (1960) Resonant modes in an optical maser. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, 48(1).
- Fox, A. G. y Li, T. (1961). Resonant modes in a maser interferometer. *Bell System Technical Journal*, 40(2), 453-488. doi: [10.1002/j.1538-7305.1961.TB01625.X](https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1961.TB01625.X)
- Ibarra, H. E., Pottiez, O. y Gómez, A. (2018) El camino hacia la luz láser. *Revista Mexicana de Física E*, 64(2). doi: [10.31349/RevMexFisE.64.100](https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.64.100)
- Javan, A., Bennett, W. R. y Herriott, D. R. (1961). Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge containing a He-Ne mixture. *Physical Review Letters*, 6(106). doi: [10.1103/PhysRevLett.6.106](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.6.106)
- Maiman, T. (1960) Stimulated optical radiation in ruby. *Nature*, 187. doi: [10.1038/187493a0](https://doi.org/10.1038/187493a0)
- Malacara, D. (1970). Dependence of the power output of He-Ne lasers on the cavity configuration. *American Journal of Physics*, 38, 327-330. doi: [10.1119/1.1976320](https://doi.org/10.1119/1.1976320)
- Malacara, D., Berriel, L. R. y Rizo, I. (1969). Construction of helium-neon lasers operating at 6328 Å. *American Journal of Physics*, 37, 276-284. doi: [10.1119/1.1975506](https://doi.org/10.1119/1.1975506)
- Nasim, H. y Jamil, Y. (2014). Diode lasers: From laboratory to industry. *Optics & Laser Technology*, 56, 211-222. <http://dx.doi.org/10.1016/j.optlastec.2013.08.012>
- Schawlow, A. L. (1976). Masers and lasers. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 23(7), pp. 773-779. doi: [10.1109/T-ED.1976.18481](https://doi.org/10.1109/T-ED.1976.18481)
- Schawlow, A. L. y Townes, C. H. (1958). Infrared and optical masers. *Physical Review Journals Archive*, 112. doi: [10.1103/PhysRev.112.1940](https://doi.org/10.1103/PhysRev.112.1940)
- White, A. D., Gordon, E. I. y Rigden, J. D. (1963). Output power of the 6328Å gas maser. *Applied Physics Letters*, 2. doi: [10.1063/1.1753793](https://doi.org/10.1063/1.1753793)

La ética y la inteligencia artificial

Clara Julieta Mora Gutiérrez

Universidad Nacional Autónoma de México

julieta.gutierrez.jm@gmail.com

Resumen

El presente trabajo muestra un análisis desde el punto de vista ético sobre el impacto de la globalización, la digitalización y el uso de las herramientas basadas en la inteligencia artificial (AI), para lo cual se toma en cuenta un marco regulatorio multiniveles en el espacio digital.

Palabras clave

Educación, inteligencia artificial y ética.

Abstract

The present work show an analysis from an ethical point of view, on the impact of globalization, digitalization and the use of tools based on artificial intelligence (AI), for which a multilevel regulatory framework is taken into account in digital space.

Keywords

Education, artificial intelligence, ethics.

APA: Mora, C. J. (2024). La ética y la inteligencia artificial. *Azcatl*, 3, 10-12. DOI: [10.24275/AZC2024B002](https://doi.org/10.24275/AZC2024B002)

Introducción

En un mundo globalizado e hiperconectado el empleo de herramientas digitales se ha vuelto esencial en la comunicación humana. La aplicación de tecnologías, como la inteligencia artificial (AI por sus siglas en inglés), el internet de las cosas (IoT) y el análisis de grandes volúmenes de datos en el desarrollo de actividades humanas plantea nuevas interrogantes y condiciones que requieren regulación, por lo que es preciso establecer directrices sociales, éticas y jurídicas para reglamentar el uso de estas tecnologías con la finalidad de garantizar una mayor seguridad en los espacios digitales.

El tema de la ética genera la necesidad de crear leyes que normen los nuevos desarrollos tecnológicos; en el caso de los sistemas de inteligencia artificial, objeto de este artículo, éstos deben utilizarse de forma transparente, no deben manipular o explotar a las personas, esto es, no deben violar los derechos humanos.

Uso de la AI en la educación

La evolución de la tecnología configura un ecosistema tecnológico, «metáfora para expresar una necesaria evolución de los sistemas de información tradicionales con soluciones basadas en la composición de diferentes componentes de software y servicios que comparten un conjunto de flujos de datos definidos semánticamente» (García-Holgado y García-Péñalvo, 2019).

La inteligencia artificial se origina a partir de la imitación del pensamiento humano, integrándose mediante sistemas y subsistemas que posibilitan la ejecución de conductas apropiadas en respuesta a estímulos específicos. De esta emulación surge el término *tecnologías de la información*, que hace referencia a equipos informáticos y máquinas programadas para llevar a cabo tareas que tradicionalmente sólo podía realizar el ser humano. Esta tecnología se puede emplear para realizar predicciones como la propagación de virus; ofrecer recomendaciones, por ejemplo, sugerir qué videos ver a continuación en internet, o para tomar decisiones como determinar la calificación apropiada para una redacción.

En el ámbito educativo el uso de la AI presenta una oportunidad de crecimiento, es por ello que el avance de las tecnologías emergentes está en camino de transformar la enseñanza y el aprendizaje, que tiende a volverse más adaptativo mediante el uso de herramientas personalizadas.¹ Sin embargo, esto genera una disyuntiva: ¿hasta qué punto es pertinente el uso de la inteligencia artificial en la educación?

Por ello, la implementación de tecnologías de AI en la educación debe ser vista como un asunto complejo y altamente controvertido (Selwyn, 2019), en donde la moral y los principios éticos deben estar sólidamente respaldados mediante una regulación con enfoque global.

Marco ético y social

La implementación de la inteligencia artificial en el campo de la educación debe considerar la perspectiva ética, es decir, buscar una regulación con un enfoque global, tomando en cuenta los derechos humanos, el cuidado de los datos personales y la seguridad de los usuarios dentro y fuera del entorno digital.

La ética en el desarrollo de la AI se centra en la transparencia y responsabilidad en el manejo de datos y procesos, en la seguridad y protección de la información y privacidad, en la sostenibilidad y equilibrio económico y social, así como en el enfoque humano para complementar capacidades. Estos principios aseguran que la AI se desarrolle y utilice de manera ética, responsable y justa.



Figura 1. Características del marco ético y social.

1 Idem

En la Figura 1 se esquematiza el espectro de los elementos necesarios por considerar en el uso de la AI en un marco ético y social, planteando la educación desde una óptica de aprendizaje continuo.

El paso previo para asumir los principios de la ética en la AI requiere no sólo de la concientización de valores, sino profundizar en el conocimiento y potencial de estas nuevas tecnologías. El diseño algorítmico debe tener en cuenta los principios éticos en el desarrollo de herramientas y tomar en cuenta que no van a sustituir a los profesores ni pretender que enseñen mejor que ellos. Por el contrario, las herramientas de AI deben crearse para fortalecer la capacidad de los docentes y ayudarles a convertirse en los mejores transmisores de conocimiento que puedan ser.

Por otra parte, los profesores deben recibir la capacitación necesaria para el uso de estas herramientas, asimismo, los desarrolladores tendrán que diseñar estrategias globales donde siempre esté presente la ética en la creación de los algoritmos.

Conclusiones

La inteligencia artificial es una herramienta creada para imitar el pensamiento humano mediante algoritmos, los cuales son una serie de reglas que pretenden imitar el aprendizaje humano. Esta inteligencia es alimentada con datos que forman modelos que permiten alimentar y enseñar a la misma inteligencia, por lo que al ser creada a partir de la inteligencia natural y tratar de imitarla puede caer en sesgos naturales propios de los seres humanos, mostrando en algunos de sus procesos una opacidad dentro de sus decisiones.

Si bien, parte de los beneficios del uso de estas tecnologías se encuentra en el manejo de un gran volumen

de datos, esto también implica riesgos, como los sesgos mencionados, los cuales provocan discriminación durante su uso. Igualmente, la AI puede tener impacto en temas como la privacidad. Dentro del área de la educación existe el peligro de la filtración de datos de los alumnos, lo que puede colocarlos en una situación de riesgo. Además de la amenaza de los ataques ciberneticos, en los que los usuarios pueden caer en la burbuja de información, la cual sólo muestra datos filtrados que en la mayoría de los casos da como resultado el sesgo algorítmico.

El uso de la AI en la educación es innegable, ya que esta herramienta puede facilitar la tarea de los docentes y contribuye en la transmisión de conocimientos a los educandos. Asimismo, la preparación de los profesores debe ser continua para poder aprovechar esta herramienta en su mayor capacidad.

Referencias

- Interaction Design Foundation (s.f.). *User experience (UX) design*. <https://www.interaction-design.org/literature/topics/ux-design>
- Law, E. y Heinz, M. (2021). Stimulating children's engagement with an educational serious video-game using Lean UX co-design. *International Journal of Child Computer Interaction*, (30). <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100321>
- Merriam-Webster (s.f.). *Usefulness*. Recuperado el 3 de abril de 2023 de <https://www.merriam-webster.com/dictionary/usefulness>
- Sampieri, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas de la investigación cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana.

Herramientas digitales en la educación

Alma Refugio Flores Ponce

Universidad del Valle de México

almafloresponce@gmail.com

Resumen

En la actualidad, los docentes se enfrentan al reto de educar a una generación de estudiantes que están creciendo rodeados por la tecnología digital, tal como el internet, dispositivos digitales, dispositivos electrónicos y , por lo tanto, continuar implementando estrategias educativas de décadas anteriores resulta poco interesante para los alumnos que ocupan las aulas hoy en día. Es por ello que en este artículo se proponen formas innovadoras de enseñar, integrando las herramientas digitales, con la intención de impartir clases mucho más dinámicas que en verdad promuevan el aprendizaje significativo y preparen a los jóvenes para los retos del futuro.

Palabras clave

Estrategias educativas, herramientas digitales educativas, educación.

Abstract

Nowadays, teachers face the challenge of educating a generation of students that are growing surrounded by digital technology, such as, internet, digital devices, electronic devices and software. Therefore, to keep implementing educational strategies from previous decades, results unattractive for the students attending classes in the present, consequently, this article states innovative teaching strategies integrating digital tools, with the intention to teach more dynamic and interesting lessons that elicit meaningful knowledge and prepare new generations for the future.

Keywords

Educational strategies, educational digital tools, education.

APA: Gómez, A e Ibarra, H. E. (2024). Herramientas digitales en la educación. *Azcatl*, 3, 13-17. DOI: [10.24275/AZC2024B003](https://doi.org/10.24275/AZC2024B003)

Introducción

«Para enseñar de manera efectiva y motivar a los estudiantes es esencial que los profesores estén capacitados y formados según las necesidades y requisitos actuales» (Ramos y Maya, 2022, como se citó en Rodríguez et al., 2023). Estos autores señalan que para poder educar de manera actualizada es de suma importancia mantenerse en constante capacitación. Ser un buen maestro va mucho más allá de los años de experiencia, de nada sirve tener cinco, diez, veinte años o más impartiendo clases si se continua asignando las mismas actividades un ciclo escolar tras otro sin tomar en cuenta el contexto social actual de los jóvenes y sin realizar adecuaciones en la planeación y generar cambios en la práctica docente.

Existen diversos factores por los cuales los profesores continúan dando sus lecciones de la misma forma generación tras generación, entre ellos se destacan la falta de interés, de evaluación, de capacitación constante y de alfabetización digital.

La intención de este artículo es dar a conocer a los maestros algunos de los diversos instrumentos digitales que existen y sus posibles usos como recurso educativo para enriquecer su labor, así como motivarlos a mantenerse siempre actualizados.

¿Qué son las herramientas digitales?

Carcaño (2021) sostiene que «todos los dispositivos tecnológicos actuales derivados de las computadoras e incluyéndolos a éstas son considerados herramientas digitales», las cuales pueden ser empleadas para distintos fines, uno de ellos –el que nos concierne en este artículo– es facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Asimismo, Borja y Carcausto (2020) indican que «las herramientas digitales en educación pueden definirse como el conjunto de aplicaciones y plataformas que ayudan tanto a docentes y alumnos en su quehacer académico».

También conocidas como TIC (tecnologías de la información y la comunicación) son el conjunto de recursos, instrumentos, equipos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios que permiten la compilación, procesamiento, almacenamiento y transmisión de informa-

ción como voz, datos, texto, video e imágenes (Ley 1341, 2009, Artículo 6).

Hablar de herramientas digitales resulta sumamente amplio, ya que existe un sinfín de categorías. Baño y Bossom (2019) proponen la siguiente clasificación de acuerdo a su uso para facilitar su estudio:

- *De búsqueda de información y contenidos.* Se utilizan para localizar información (motores de búsqueda, Twitter, Facebook, Linkedin, etcétera).
- *De filtrado y selección de información.* Son empleadas para seleccionar la información relevante (Pocket, Instapaper, Gmail, Evernote, Google Drive, Feedly, Delicious, entre otras).
- *De creación de contenidos.* Su función consiste en generar contenidos digitales (Youtube, Slideshare, Canva, Instagram, Tik Tok, Twitter, Wordpress, Google Docs, Linkedin y demás).
- *De organización de contenidos.* Se utilizan para ordenar la información filtrada o creada (Scoop.it, Netvibes, Symbaloo, Drive, Pinterest, etcétera).
- *De difusión.* Son empleadas para compartir en red la información (Blogger, Wordpress, Facebook, Twitter, Scoop.it, Pinterest, Instagram, Tik Tok, entre otras).
- *De comunicación.* Su función consiste en trabajar con la información en comunidades de aprendizaje (Grupos de Google, Moodle, MeWe, WhatsApp, Telegram, Linkedin y demás).

¿Cómo romper la brecha digital?

Si existen tantas herramientas digitales, entonces ¿cómo es que aún en muchas escuelas siguen sin implementarse? Esto se debe a la brecha digital, la cual Flores (2008) define como «la distancia social que separa a quienes tienen acceso a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) de aquellos que no lo tienen». Esta brecha obedece a distintos factores, el más recurrente es la falta de recursos tanto en algunas escuelas como en los hogares de los estudiantes. Muchos maestros de escuelas públicas se limitan a seguir trabajando únicamente con

el pizarrón, cuadernos y libros debido a que las aulas no cuentan con la infraestructura y tecnología necesarias para aplicar estrategias educativas innovadoras que incluyan el uso de Internet, así como plataformas digitales y aplicaciones educativas.

Por otro lado, aún contando con internet en las escuelas resulta difícil asignar tareas que requieran de manera obligatoria el empleo de las TIC para su elaboración, tales como presentaciones digitales y videos, debido a que muchos alumnos no cuentan con dichas facilidades en sus hogares, lo cual implicaría una desigualdad a la hora de calificarlos.

¿Qué podemos hacer para aprovechar las tecnologías digitales de una manera inclusiva? Una propuesta sería que los profesores de las escuelas que cuenten con internet y computadoras implementen actividades que les permitan obtener ventaja de estos instrumentos dentro de la institución sin necesidad de asignar tareas que requieran su uso en casa, o bien permitir la apertura a la diversidad creativa, es decir, si se solicita a los estudiantes realizar una presentación, que tengan la opción de entregarla en formato digital, si cuentan con acceso a un dispositivo con internet fuera de la escuela, o bien en formato físico, utilizando elementos como cartulinas, plumones, colores y recortes de revistas, de esta manera se practicaría la inclusión social, integrando las TIC como un recurso complementario, mas no obligatorio.

Otro elemento que resulta un aliado a la hora de integrar las herramientas digitales en el salón de clases es el celular, aunque resulte muy controversial y todos estamos conscientes de sus desventajas –ya que, al parecer, éstas son en las que más nos enfocamos– sería conveniente considerar sus ventajas. Según el portal de *Inspiratic*s, fundación española que busca mejorar la calidad de la enseñanza mediante la innovación en el ámbito educativo, uno de sus beneficios es el fomento del buen uso de la tecnología. Como sabemos, la mayoría de los alumnos cuentan con un dispositivo móvil y, desafortunadamente, aunque no se les permita, muchas veces lo utilizan durante las clases, por ello, adoptarlo como un instrumento educativo nos ayudaría a cambiar el enfoque al no conside-

rarlo un enemigo y transformarlo en un aliado de nuestro trabajo. Además, la mayoría de los jóvenes cuentan con acceso a internet en su celular, por lo que no dependen de una computadora para poder realizar investigaciones y tareas. Aunado a esto, diversos estudios han demostrado que su uso aumenta la motivación y la participación en las lecciones, pues permite al estudiante aprender de una forma mucho más interesante e interactiva.

Un factor más que ocasiona una brecha digital –además de la falta de recursos– es la falta de capacitación. Supongamos que nuestra escuela cuenta con internet y computadoras, lo que podría ayudarnos a poner en práctica el manejo de las herramientas digitales en el aula, o nuestros alumnos tienen dispositivos móviles como celulares, tabletas o laptops, lo cual favorece que realicen investigaciones y tareas de una forma mucho más dinámica e interesante, sin embargo, aun contando con estos instrumentos es necesario que tanto estudiantes como maestros conozcan el abanico de opciones que existen en cuanto a páginas web, buscadores y aplicaciones que pueden facilitar el aprendizaje dentro y fuera del salón de clases y que además sepan utilizarlas para obtener el mayor beneficio de las mismas. Es por ello que el primer paso es contar con los recursos y el segundo paso es diseñar un plan institucional de capacitación digital para los docentes y que ellos a su vez lo compartan con sus alumnos. Lo ideal sería que esto se realizara al inicio de cada ciclo escolar para asegurar que toda la comunidad educativa cuente con las competencias necesarias para emplear las TIC.

¿Cómo implementar las herramientas digitales en el aula?

Ahora que ya conoces algunas de las instrumentos que pueden facilitar tu trabajo como profesor y atraer el interés y la motivación de tus alumnos, volviendo tus lecciones mucho más dinámicas y divertidas mientras los preparas para dominar las competencias del futuro, y además sabes cuáles son las brechas digitales que separan tanto a ti como a tus estudiantes de implementar la tecnología en el salón de clases, estás listo para identifi-

car algunos ejemplos de las principales aplicaciones que se utilizan en la actualidad como recurso digital educativo.

Te voy a mencionar cinco herramientas que empleo en mis clases, así como ejemplos de uso de cada una para que puedas comenzar a ejecutarlas hoy mismo. Al final de cada una encontrarás el link para acceder a ellas. Todas cuentan con versiones gratuitas:

1. *Google Classroom*. Esta plataforma se utiliza para publicar avisos e igualmente asignar trabajos y tareas. Incluso puedes aplicar ahí mismo exámenes de manera virtual a través de cuestionarios, lo que ahorra mucho tiempo, ya que puedes automatizar la revisión de los mismos (<https://sites.google.com/view/classroom-workspace/home>).
2. *Canva*. Es un instrumento de diseño para crear presentaciones tipo Power Point, infografías, mapas mentales, cuadros sinópticos, mapas conceptuales y demás representaciones gráficas, las cuales te pueden servir para presentar la información a tus alumnos de una forma mucho más visual, o bien asignarles actividades que les permitan crear sus propios diagramas para demostrar la adquisición del conocimiento (<https://www.canva.com>).
3. *Capcut*. Esta aplicación se emplea para editar archivos de video de una manera muy sencilla y puede descargarse tanto en computadora como en celular. Uno de sus mayores atractivos es que puedes añadir filtros, audio, transiciones y subtítulos para hacer tus videos mucho más llamativos (<https://www.capcut.com>).
4. *Google Drive*. Es un dispositivo de almacenamiento en la nube que puedes usar para compartir archivos cuando son muy pesados sin que pierdan calidad. Otra ventaja es que al trabajar de manera colaborativa puedes crear un archivo, añadir a los integrantes del equipo y cada uno puede editarlo al mismo tiempo, mientras todos ven las contribuciones que los demás van aportando. Cabe mencionar que Canva también cuenta con esta

misma función, solamente es cuestión de habilitar los permisos y compartir el link del documento (<https://drive.google.com>).

5. *Nearpod*. Este recurso te permite crear lecciones interactivas en las cuales puedes subir videos explicativos, así como diseñar actividades que tus alumnos deben responder, como cuestionarios de opción múltiple, asociación de tarjetas, entre otros juegos (<https://nearpod.com>).

Conclusiones

En la actualidad, las herramientas digitales se han convertido en un aliado en todos los campos ocupacionales y el sector educativo no es la excepción, incluso los libros han llegado a formar parte del mundo digital mediante aplicaciones como Kindle, la cual es un lector electrónico portátil e inalámbrico que permite a los usuarios navegar, descargar y leer libros electrónicos, revistas, blogs, periódicos y otras publicaciones digitales. Kindle imita la lectura en papel, utilizando papel electrónico y tinta electrónica para mostrar hasta 16 niveles de escala de grises, haciendo de la lectura una experiencia distinta. Es por ésta y muchas otras razones que las herramientas digitales han convertido el aula en un lugar dinámico y divertido, en el cual los estudiantes se sienten motivados e interesados y como consecuencia participan de manera activa construyendo su propio conocimiento, investigando y desarrollando el pensamiento crítico. Por lo cual, es importante que como docentes comencemos a capacitarnos y rompamos la brecha digital para brindar una educación innovadora, lo que formará ciudadanos que practican un aprendizaje significativo, que conocen su contexto social, que se involucran en la solución de problemas y que se preparan para enfrentar los retos del futuro.

Referencias

- Baño, J. y Bosom, A. (2019). *Guía de herramientas digitales para el docente virtual*. Grial. http://tutoriales.grial.eu/herramientastutor2019/22_clasificacion_de_herramientas_digitales_para_el_ple.html
- Borja, G. y Carcausto, W. (2020). Herramientas digita-

- les en la educación universitaria latinoamericana. *Revista Educación Las Américas*, 10(2), 254-264. <https://doi.org/10.35811/rea.v10i2.123>
- Carcaño, E. (2021). *Herramientas digitales para el desarrollo de aprendizajes*. *Revista Vinculando*, 19(1). <https://vinculando.org/educacion/herramientas-digitales-para-el-desarrollo-de-aprendizajes.html>
- Flores, R. (2008). *¿Qué es la brecha digital?: Una introducción al nuevo rostro de la desigualdad*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Cuerpo Académico Globalización, Ciudadanía y Democracia.
- Ley 1341 de 2009. Art. 6. Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones (TIC), se crea la Agencia Nacional de Espectro y se dictan otras disposiciones. (Colombia). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36913>
- Rodríguez, J., Pablo, R., Deneri, E., Ramos, D. y Rodríguez, M. (2023). Innovación educativa en acción: Herramientas digitales y su impacto en la motivación de estudiantes universitarios. *Horizontes. Revista de Investigación de Ciencias de la Educación*, 7(30). <https://revistahorizontes.org/index.php/revistahorizontes/article/view/1121>



La importancia del problema de ruteo de vehículos (VRP) en la industria de la última década

Roberto García Aguirre†

Universidad Autónoma Metropolitana,

Unidad Azcapotzalco

al2221800033@azc.uam.mx

Roman Anselmo Mora Gutiérrez

Universidad Autónoma Metropolitana,

Unidad Azcapotzalco

mgra@azc.uam.mx

Edwin Montes Orozco

Universidad Autónoma Metropolitana,

Unidad Cuajimalpa

emonteso@cua.uam.mx

Resumen

El presente trabajo realiza una búsqueda y análisis, en la última década, sobre el problema del ruteo de vehículos en la industria. A pesar de que el VRP es un problema propuesto en 1959, hoy en día sigue teniendo nuevas modificaciones en la industria actual, por ejemplo, los vehículos eléctricos y la logística de entrega por parte de drones. Dichas variantes se pueden manejar como problemas VRP, pero con sus respectivas restricciones.

Esta investigación tiene como objetivo realizar una revisión de la literatura existente en la última década con el fin de examinar como el VRP se ha adaptado a las necesidades de hoy. Para la selección de literatura se tomaron en cuenta varios filtros como el año de publicación, el cual no fue mayor a diez años atrás, y los temas a tratar de los artículos, los cuales debían ser actuales. Las búsquedas se realizaron en directorios científicos, tales como Google Scholar, Scopus y Elsevier.

Palabras clave

Problema de ruteo de vehículos, servicio de paquetería y logística de entrega.

Abstract

The present work makes a search and analysis of the vehicle routing problem in the industry in the last decade. Although the VRP is a problem proposed in 1959, today it continues to have new modifications to the current industry, we can mention electric vehicles and delivery logistics by drones. These types of problems can be handled as VRP problems, but with their own restrictions.

APA: García, R., Mora-Gutiérrez, R. A. y Montes-Orozco, E. (2024). La importancia del problema de ruteo de vehículos (VRP) en la industria de la última década. *Azcatl*, 3, 8-22. DOI: [10.24275/AZC2024B004](https://doi.org/10.24275/AZC2024B004)

This paper aims to make a review of different articles in the last decade in order to review how the vehicle routing problem (VRP) has been adapted to today's needs. Methods For the search of the articles several filters were taken, such as year of publication not older than ten years of publication, the topics to be addressed in the articles have to do with current issues and VRP, the searches were performed in scientific search engines, such as, Google Scholar, scopus, The Sevier.

Keywords

Vehicle routing problem, parcel service, delivery logistics.

Introducción

Los desafíos en la logística y la distribución de mercancías han adquirido una importancia crítica en la economía actual. En consecuencia, constantemente se están explorando nuevas técnicas de optimización con el objetivo de minimizar costos. En los sistemas logísticos modernos, la optimización de las rutas de transporte de vehículos de distribución reviste una gran relevancia para mejorar la eficiencia del transporte y reducir los costos logísticos, como se observa en investigaciones recientes (Leng y Li, 2022).

El problema de ruteo de vehículos (VRP, por sus siglas en inglés) es un problema muy común y estudiado en optimización combinatoria. Fue en 1959 que Dantzing y otros autores propusieron una minimización del coste de rutas de una flota de camiones de reparto de gasolina que parten desde una terminal a diversas estaciones de servicio, resolviéndolo mediante una formulación de programación lineal. Dada la naturaleza del problema, esta solución puede ser bien aplicada a diversas problemáticas de la vida real, sobre todo en las áreas de redes de transporte y de suministro.

Modelo matemático

Se presenta el grafo $G=(N, A)$ con el conjunto de nodos $N=\{0, 1...n\}$ indexando el depósito (nodo 0), el cliente 1 al n y el conjunto de arcos $A=N\times N$, correspondiente a todos los enlaces entre los puntos en el problema. La longitud del arco ij es c_{ij} .

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=0}^k d_{ij} x_{ij}^v, \quad (1)$$

donde

- la ecuación 1 representa la función objetivo, la cual debe minimizar el costo total de rutas al conjunto de vehículos asignados;
- d_{ij} es la distancia de transporte viajando desde los nodos de i a j ;
- x_{ij}^v es la variable de decisión binaria que indica si el vehículo viaja desde los nodos i a j .

$$\sum_{i=0}^n \sum_{v=0}^k x_{ij}^v = 1; \forall j = 1 ... n, \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{0j}^v = 1; \forall v = 1 ... k, \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{i0}^v = 1; \forall v = 1 ... k, \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ip}^v - \sum_{v=0}^k x_{pj}^v = 0; \forall p = 0 ... n; \quad v = 1 \quad (5)$$

$$Y_{iv} = d_{i0} \sum_{j=0}^n x_{ji}^v \quad \forall i = 1 ... n; \quad v = 1 ... k, \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^n Y_{iv} \leq Q \quad \forall v = 1 ... k, \quad (7)$$

$$X_{ij}^v \in \{0,1\} \quad y Y_{ix} \geq 0; \forall i = 1 ... n; v = 1 ... k, \quad (8)$$

donde

- la ecuación 2 asegura que cada cliente debe ser visitado si y sólo si por un vehículo;
- la restricción 3 asegura que cada vehículo parte sólo una vez del depósito;
- la restricción 4 asegura que cada vehículo regrese al depósito;
- la ecuación 5, considerada como restricción de transbordo, asegura que cada vehículo al arribar a la ubicación de un cliente salga de ésta (sirve para evitar la formación de subciclos);
- la restricción 6 asegura que la cantidad entregada al cliente i por el vehículo v sea satisfecha en su totalidad;
- la ecuación 7 asegura que la cantidad entregada en cada ruta no exceda la capacidad del vehículo;
- la restricción 8 define el tipo de variables por utilizar.

Todo lo anterior puede ser visto de manera gráfica en la Figura 1. Podemos observar el depósito, que se encuentra al centro, y los diferentes clientes a su alrededor con sus respectivas necesidades, así como los vehículos con su carga preestablecida.

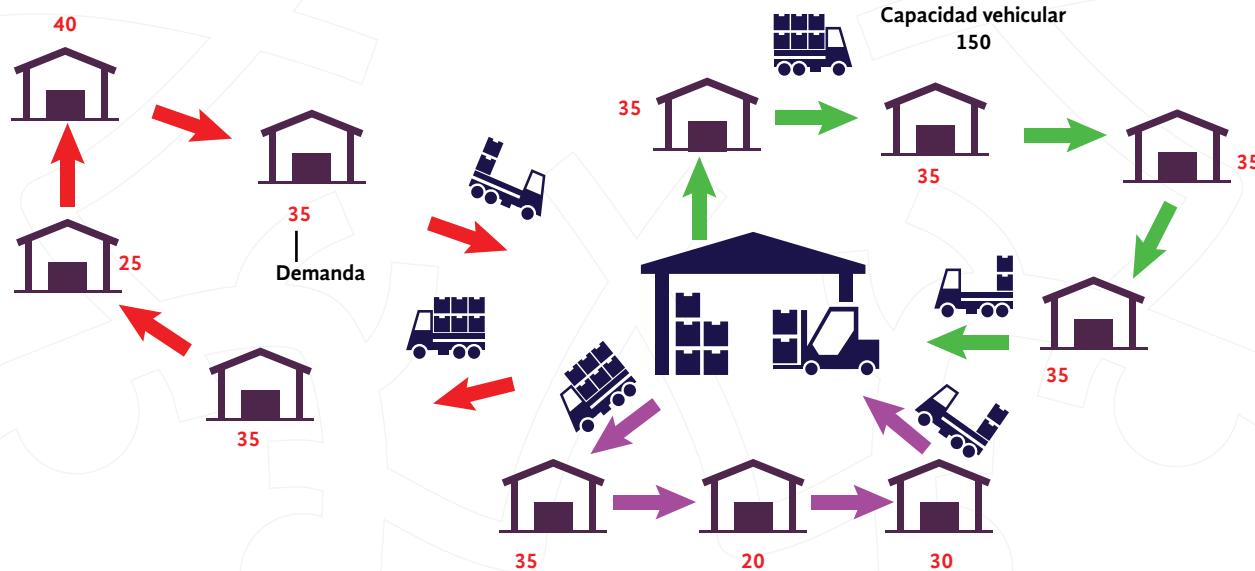


Figura 1. Ejemplificación gráfica del VRP.

VRP en la última década

Vehículos verdes en el problema de ruteo de vehículos

En la actualidad se ha puesto especial atención en los problemas climáticos y sus consecuencias en el medio ambiente. Una de las causas de contaminación más graves es aquella emitida por la industria del transporte. Se ha considerado como una solución el uso de autos eléctricos en sustitución de los de combustión interna. Los vehículos eléctricos son definidos como vehículos que usan energía eléctrica suministrada desde fuentes eléctricas (estaciones de carga)(Park y Jin, 2020). Como resultado, se ha introducido una nueva variante del VRP denominada enrutamiento de vehículo eléctrico (EVRP, por sus siglas en inglés). Esta variante considera las limitaciones propias del VRP pero agregando las propias de los vehículos eléctricos (C. Lin *et al.*, 2014).

La idea del cambio a vehículos más verdes no sólo tiene que ver con la lucha contra los efectos del cambio climático, sino también con una visión económica, ya que el coste del combustible representa el 39 % y el 60 % de los costos operativos del sector de transporte en carretera (Sahin *et al.*, 2009).

El EVRP debe considerar las características de los vehículos eléctricos, tales como el kilometraje limitado, el problema de la velocidad de carga y, debido a que se trata de una tecnología reciente, el alto costo de inversión. La distancia que pueden recorrer los vehículos está determinada por la capacidad y el tipo de batería, es por ello que los vehículos eléctricos necesitan estacionarse en paradas específicas para poder recargar su batería; la velocidad de carga varía de acuerdo con la tecnología del fabricante del vehículo.

Las ubicaciones de las estaciones de carga de batería son conocidas y se encuentran dentro del área de servicio, pueden ser visitadas varias veces por un mismo vehículo o por diferentes vehículos, sin embargo, también pueden no ser visitadas. Asimismo, un aspecto importante por considerar es el coste asociado a la electricidad con la que se carga la batería. En cada ubicación del cliente, así como en el VRP tradicional, hay una demanda de entrega o recogida. Existe un único depósito de donde parten y regresan los vehículos (J. Lin *et al.*, 2016).

El objetivo del EVRP es similar al del VRP, esto es, minimizar el costo de distribución, atender a todos los clientes y no exceder la capacidad de carga de los vehículos, todo esto sujeto a lo siguiente:

- Cada cliente debe de ser visitado sólo una vez y solamente por un vehículo.
- Cada ruta empieza y termina en el depósito.
- La demanda total requerida por los clientes en una ruta no debe exceder la capacidad del vehículo.

Las limitaciones del EVRP implican la cantidad variable de energía restante en el vehículo al llegar a un cliente, cuando se inicie la ruta se debe hacer con carga completa y los tiempos de carga y de servicio (Asghari y Mirzapour Al-e-hashem, 2021).

Ruteo de vehículos con drones

En recientes años los drones han tomado gran relevancia para los investigadores y profesionales de la logística, esto debido a varias de sus aplicaciones, entre ellas

las implementaciones en la logística. Los drones son aeronaves conducidas sin piloto que mantienen su equilibrio y su manejo a través de un sistema de computadora a bordo o también pueden ser manejados por una persona de forma remota.

El uso de los drones en el área de la logística de entrega se ha incrementado por las características de éstos, pues suelen ser más rápidos que los camiones, su costo es más bajo y debido a su vuelo pueden evitar congestiones en rutas terrestres convencionales (Wohlsen, 2014). Existen importantes compañías de entrega de paquetería que usan estas aeronaves, tales como Amazon o DHL (Wang y Sheu, 2019).

Debido a las limitaciones de los drones, como la cantidad de paquetes y las baterías que utilizan, se ha promovido el uso de camiones en conjunto con éstos, no sólo como una forma de cooperación, sino como una «plataforma de lanzamiento» (Wang y Sheu, 2019).

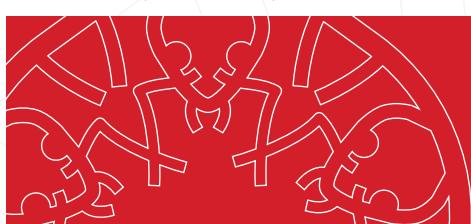
A diferencia del problema clásico de ruteo de vehículos, en el cual sólo hay un tipo de vehículo, en el problema de ruteo de vehículos con drones (VRPD) existen dos tipos de vehículos: un dron y un camión. El primero tiene diferentes vuelos y aterrizajes y éstos pueden estar asociados con un camión diferente, por lo tanto, el camión puede lanzar y recoger varios drones en diferentes tiempos y lugares. Uno de los inconvenientes de los drones es su limitado rango de vuelo, aunque este rango es sólo una aproximación basada en la máxima distancia o el límite de tiempo (Macrina *et al.*, 2020).

Otra restricción es el consumo de energía, el cual dependerá de varios factores, entre ellos se encuentran el medio ambiente, las dinámicas del dron y las operaciones de entrega (Zhang *et al.*, 2021). En varios de los enfoques el rango es independiente de la velocidad o se toma la misma velocidad para todos los drones

Estas características hacen del VRPD un desafío, ya que es difícil determinar el orden de atención a la necesidad del cliente por dos tipos de vehículos, los lugares donde los camiones recogen o lanzan los drones y las rutas de los vehículos (Kuo *et al.*, 2022).

Referencias

- Asghari, M. y Mirzapour Al-e-hashem, S. M. J. (2021). Green vehicle routing problem: A state of the art review. *International Journal of Production Economics*, 231. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2020.107899>
- Kuo, R. J., Lu, S. H., Lai, P. Y. y Mara, S. T. W. (2022). Vehicle routing problem with drones considering time windows. *Expert Systems with Applications*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116264>
- Leng, K. y Li, S. (2022). Distribution path optimization for intelligent logistics vehicles of urban rail transportation using VRP optimization model. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(2), 1661-1669. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3105105>
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T. S., Chung, S. H. y Lam, H. Y. (2014). Survey of green vehicle routing problem: Past and future trends. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1118-1138. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2013.07.107>
- Lin, J., Zhou, W. y Wolfson, O. (2016). Electric vehicle routing problem. *Transportation Research Procedia*, 12, 508-521. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.007>
- Macrina, G., Di Puglia Pugliese, L., Guerriero, F. y Laporte, G. (2020). Drone-aided routing: A literature review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 120. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2020.102762>
- Park, H. y Jin, S. (2020). Electric vehicle routing problem with heterogeneous vehicles and partial charge. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 11(4), 215-225. <https://doi.org/10.24867/IJIEM-2020-4-266>
- Sahin, B., Yilmaz, H., Ust, Y., Guneri, A. F. y Gulsun, B. (2009). An approach for analysing transportation costs and a case study. *European Journal of Operational Research*, 193(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2007.10.030>
- Wang, Z. y Sheu, J. B. (2019). Vehicle routing problem with drones. *Transportation Research Part B: Methodological*, 122, 350-364. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.03.005>
- Wohlsen, M. (18 de junio de 2014). The next big thing you missed: Amazon's delivery drones could work. They just need trucks. *Wired*. <https://www.wired.com/2014/06/the-next-big-thing-you-missed-delivery-drones-launched-from-trucks-are-the-future-of-shipping/>
- Zhang, J., Campbell, J. F., Sweeney, D. C. y Hupman, A. C. (2021). Energy consumption models for delivery drones: A comparison and assessment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 90. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2020.102668>



Nanotecnología en la agricultura: Innovación para la producción sostenible de alimentos

Nicol Edith Navarro López

Universidad Politécnica de Chiapas

nicolededithnavarro@gmail.com**Aleida Montserrat González Torrez**

Universidad Politécnica de Chiapas

aleidamontserrat17@gmail.com**Arlett Esmeralda Pérez Pérez**

Universidad Politécnica de Chiapas

esme2908perez@gmail.com**Nicolás Morales Mazariego**

Universidad Politécnica de Chiapas

n941818@gmail.com**Magin González Moscoso**

Universidad Politécnica de Chiapas

magingonmos@gmail.com

Resumen

La nanotecnología está revolucionando la agricultura moderna al ofrecer soluciones innovadoras a desafíos como el crecimiento demográfico, el cambio climático y la necesidad de mejorar la eficiencia en la producción de alimentos. Este artículo explora cómo la manipulación de materiales a escala nanométrica aplicados a la agricultura puede mejorar la productividad, la calidad de los cultivos y gestionar de manera sostenible los recursos naturales. Además, se destacan aplicaciones prometedoras como los nanosensores para la vigilancia de cultivos y el control de plagas, subrayando su potencial para modernizar y sostener el sector agrícola con numerosos beneficios para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria global.

Palabras clave

Nanotecnología, agricultura, nanosensores.

Abstract

Nanotechnology is revolutionizing modern agriculture by offering innovative solutions to challenges such as population growth, climate change, and the need to improve food production efficiency. This article explores how the manipulation of materials at the nanometer scale applied to agriculture can enhance productivity, crop quality, and sustainably manage natural resources. It also highlights promising applications such as nanosensors for crop monitoring and pest control, emphasizing its potential to modernize and support the agricultural sector, with significant benefits for food production and global food security.

Keywords

Nanotechnology, agriculture, nanosensors.

APA: Navarro, N. E., González, A.M., Morales, N. y Pérez, E. A. (2024). Nanotecnología en la agricultura: Innovación para la producción sostenible de alimentos. *Azcatl*, 3, 23-27. DOI: [10.24275/AZC2024B005](https://doi.org/10.24275/AZC2024B005)

Introducción

En las sociedades industrializadas del primer mundo, la creciente demanda de alimentos de calidad impulsa a la industria agroalimentaria a producir alimentos seguros, nutritivos y saludables (Prieto *et al.*, 2008). Simultáneamente, los países en desarrollo también presentan un incremento en la demanda de este tipo de alimentos. Hechos que han motivado esfuerzos locales y globales para mejorar los estándares de producción, distribución y consumo de alimentos en estas regiones.

¿Qué es la nanotecnología?

La nanotecnología implica la manipulación de la materia a escala atómica y molecular para crear materiales, estructuras y dispositivos con propiedades únicas debido a su tamaño reducido (Rao *et al.*, 2006). Esta tecnología multidisciplinaria tiene aplicaciones en diversos campos como la medicina, la electrónica, la energía y, notablemente, la agricultura.

¿Qué relación tiene la nanotecnología con la agricultura?

En la Edad Moderna la agricultura enfrenta desafíos cada vez más complejos debido al crecimiento demográfico, al cambio climático y a la necesidad de mejorar la eficiencia en la producción de alimentos. En este contexto, la nanotecnología emerge como un campo prometedor que ofrece soluciones innovadoras y transformadoras para abordar estos problemas. A través de la manipulación de materiales a escala nanométrica, la nanotecnología proporciona herramientas que pueden revolucionar diversos aspectos de la agricultura, desde la mejora de la productividad y la calidad de los cultivos hasta la gestión sostenible de recursos naturales. Por ejemplo, se han diseñado nanofertilizantes que permiten una liberación controlada de nutrientes, lo que mejora la absorción por parte de las plantas y reduce el uso excesivo de fertilizantes convencionales, disminuyendo así la contaminación del suelo y del agua (Chen y Yada, 2011). De igual manera, el uso de nanopesticidas puede ofrecer una protección más efectiva y específica contra plagas, minimizando la cantidad de productos químicos utilizados (Nair *et al.*, 2010). Cu-

riosamente, los nanomateriales también se están usando como recubrimientos en alimentos provenientes de los campos agrícolas con el objetivo de aumentar su vida poscosecha y antifúngica.

Métodos de síntesis de nanomateriales y nanopartículas

Los métodos para sintetizar nanopartículas se clasifican típicamente con base en dos enfoques: de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba (Rao *et al.*, 2006). El primero implica la reducción de materiales más grandes a escala nanométrica, mientras que el segundo implica la construcción de nanopartículas a partir de átomos o moléculas en soluciones o fase gaseosa (como se muestra en la Figura 1). Igualmente, existen métodos químicos, físicos y verdes para obtener nanomateriales y dentro de cada uno hay diferentes técnicas que están reportadas a nivel mundial.

Comprender los métodos de síntesis de nanopartículas es crucial porque éstos no sólo determinan las características estructurales y morfológicas de las partículas, sino que también permiten controlar sus propiedades funcionales, como la reactividad superficial, la estabilidad y las propiedades ópticas o magnéticas. Estas propiedades son sustanciales para mejorar el rendimiento de las nanopartículas en aplicaciones tecnológicas y científicas, desde el desarrollo de nuevos materiales hasta su uso en la biomedicina. La elección del método de síntesis influye en la

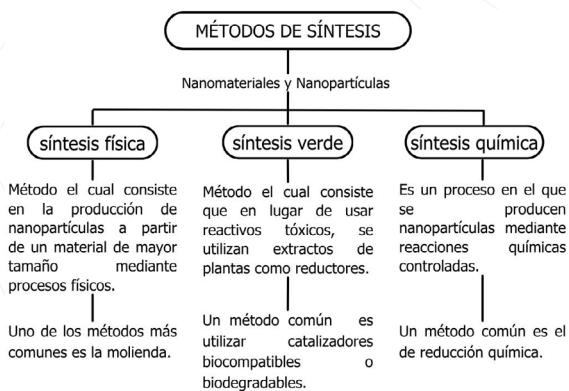


Figura 1. Diagrama de descripción de los métodos de síntesis de nanopartículas. Fuente: elaboración propia.

reproducibilidad del proceso, la uniformidad del producto final y la posibilidad de escalar la producción para satisfacer demandas industriales. El conocimiento profundo de estos métodos facilita la innovación en el diseño de partículas con funciones específicas, lo que permite avanzar en la nanotecnología aplicada a diversas áreas, asimismo, este conocimiento es primordial para abordar aspectos relacionados con la toxicidad y el impacto ambiental, coadyuvando a desarrollar nanopartículas más seguras y sostenibles (Rodríguez y Pérez, 2022).

Aplicaciones en la agricultura: Vía foliar, semilla y raíz

Como hemos visto, la nanotecnología se puede implementar de manera significativa en la agricultura y la producción de alimentos. Por ejemplo, el uso de nanosensores permite una vigilancia precisa del crecimiento de los cultivos y un control efectivo de plagas, aparte de facilitar la identificación temprana de enfermedades en animales y plantas. Estos nanosensores no sólo ayudan a mejorar la producción y seguridad de los alimentos, sino que también actúan como dispositivos de control externo que no terminan impregnados en los alimentos (Noormans, 2010). Por otro lado, se han hecho estudios sobre las aplicaciones de nanopartículas de óxido de zinc que han contribuido a un mayor crecimiento y producción de biomasa seca en plantas como el pimiento morrón (*Capsicum annuum*). Se cree que este crecimiento podría estar relacionado con la influencia que tiene el zinc como precursor en la síntesis de las hormonas vegetales llamadas auxinas, pues estas hormonas tienen funciones cruciales en el desarrollo y la vida de las plantas (Kirolinko, 2023) que participan en la división celular, así como por su influencia en la reactividad del ácido indolacético, el cual sirve como fitoestimulante hormonal. De acuerdo con Ali et al. (2024), un fitoestimulante hormonal es un mensajero químico esencial que promueve el crecimiento y desarrollo de las plantas mediante la regulación de sus procesos fisiológicos.

El zinc desempeña un papel fundamental en la reactividad del ácido indolacético, una de las principales auxinas en las plantas, ya que actúa como un cofactor en diversas

enzimas involucradas en el metabolismo y la señalización del ácido indolacético. La presencia adecuada de zinc es esencial para la correcta síntesis, transporte y activación de esta hormona. De igual manera, el zinc influye en la estabilidad del ácido indolacético y en su capacidad para promover el crecimiento celular y la formación de raíces. La deficiencia de zinc puede afectar la actividad de las auxinas, lo que se traduce en una reducción del crecimiento y desarrollo vegetal, comprometiendo procesos como la elongación celular y la división celular en las raíces y los brotes (Roberts y Smith, 2021).

Sin embargo, el uso de ZnO presenta ciertas limitaciones. Las nanopartículas químicamente sintetizadas, especialmente en concentraciones elevadas, pueden disminuir la tasa de germinación o incluso resultar fitotóxicas para algunas variedades. Los efectos beneficiosos dependen de la compatibilidad biológica y la distribución de tamaño de las nanopartículas, lo que implica que se requieren estudios adicionales para ajustar sus dosis y métodos de aplicación en distintos cultivos y condiciones (Galindo et al., 2023).

Con estos ejemplos podemos darnos cuenta como las nanopartículas y nanomateriales ofrecen múltiples aplicaciones en la agricultura. Existen tres vías a través de las cuales se pueden aplicar estos nanomateriales para que sean absorbidos por las plantas (Figura 2). A continuación se describen cada una de ellas:

- **Vía foliar:** Aplicación directa de nanopartículas sobre las hojas de las plantas para mejorar su nutrición, como protección contra plagas y enfermedades y para incrementar la eficiencia en el uso de recursos.
- **Vía semilla:** Recubrimiento de semillas con nanopartículas para mejorar la germinación, resistencia a enfermedades y absorción de nutrientes, aparte de la entrega de nutrientes esenciales durante la germinación y desarrollo inicial.
- **Vía raíz:** Uso de nanopartículas para mejorar la estructura del suelo y aumentar la disponibilidad de agua y nutrientes para las raíces, lo que da como resultado una mejor eficiencia en el uso del agua y

resistencia al estrés. Además, generan una bioestimulación del crecimiento radicular (la radícula constituye la primera raíz rudimentaria en el embrión) (Sánchez, 2021).



Figura 2. Vías de aplicación de nanopartículas en plantas en la agricultura. Fuente: elaboración propia.

Dos desafíos en la agricultura: aumento poblacional y cambio climático

Se estima que la población mundial alcanzará los 9 700 millones de personas en el 2050, lo que requerirá un aumento significativo en la producción de alimentos (Servin y White, 2016). Este fenómeno es proporcional: conforme la población crece, la demanda de alimentos también aumenta. El problema que deriva de esta situación es el abuso de los recursos naturales del planeta, lo que impacta negativamente en el suelo, el agua y nuestros bosques.

La nanotecnología ofrece soluciones para maximizar la productividad de los cultivos en áreas limitadas mediante técnicas de entrega eficiente de nutrientes y pesticidas. Esto es crucial para satisfacer la creciente demanda alimentaria sin necesidad de expandir la frontera agrícola, preservando así los bosques y otros ecosistemas.

Por otro lado, la consecuencia del cambio climático que más afecta a la agricultura es la mayor frecuencia de fenómenos extremos, como sequías e inundaciones, esto debido a la alteración de los patrones climáticos. En este

contexto, la nanotecnología aporta a la agricultura climáticamente inteligente mediante el desarrollo de cultivos más resistentes a las condiciones adversas y la mejora en la gestión del agua y nutrientes. Por ejemplo, el uso de sensores nanobioquímicos en los campos agrícolas puede proporcionar información en tiempo real sobre las condiciones del suelo y las necesidades hídricas de las plantas, lo que permite una gestión más eficiente del agua, un recurso crítico en la adaptación al cambio climático (Golmei *et al.*, 2024). Esta información precisa facilita la toma de decisiones, optimizando el riego y la aplicación de fertilizantes, lo que resulta en un uso más racional del agua y una reducción en el uso de productos químicos agrícolas.

Nanotecnología: Una tecnología con varias limitantes

Aunque la nanotecnología tiene un potencial significativo, igualmente enfrenta varias limitaciones. En primer lugar, la producción y aplicación de nanopartículas en la agricultura aún puede ser costosa, lo que dificulta su adopción generalizada en países en desarrollo (Ghormade *et al.*, 2011). La literatura científica demuestra los efectos positivos en diversos cultivos en estudios de invernadero y en condiciones de laboratorio, sin embargo, una gran limitante de esta tecnología es su escalamiento a procesos industriales, lo que dificulta, por el momento, aplicarla en amplias extensiones de cultivos.

Asimismo, existe una creciente preocupación sobre los posibles efectos ambientales y las afectaciones en la salud que podrían derivarse de la liberación de nanopartículas en el entorno. La falta de estudios a largo plazo sobre la toxicidad de estas partículas en los ecosistemas y en la salud humana es una barrera considerable para su aceptación y regulación (Nair *et al.*, 2010).

Actualmente, la legislación sobre el uso de nanotecnología en la agricultura varía significativamente entre países. La Unión Europea, por ejemplo, tiene regulaciones estrictas para la evaluación de riesgos y la aprobación de nanopartículas en productos agrícolas; mientras que en otras regiones, como América Latina, las normativas son menos estrictas (Chen y Yada, 2011) o incluso no existen. Como en el caso de México, donde no se cuenta con una

normatividad vigente que regule el uso de los nanomateriales. Es muy importante que los gobiernos desarrollen marcos regulatorios sólidos que promuevan una innovación responsable, la protección del medio ambiente y la preservación de la salud humana.

Conclusiones

La integración de la nanotecnología en la agricultura representa un avance significativo para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción de alimentos. Los nanosensores y otras aplicaciones permiten un control preciso de las condiciones de cultivo, reduciendo los riesgos y mejorando los rendimientos agrícolas. Este avance no sólo coadyuva a la seguridad alimentaria global, sino que también promueve prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Sin embargo, la adopción de esta tecnología debe ser cuidadosamente regulada para evitar posibles efectos adversos en la salud y en el entorno. La investigación continua y la implementación de políticas claras son fundamentales para garantizar que la nanotecnología contribuya de manera sostenible a la agricultura del futuro.

Referencias

- Ali, J., Mukarram, M., Ojo, J., Dawam, N., Riyazuddin, R., Ghramh, H. A., Khan, K. A., Chen, R., Kurjak, D. y Bayram, A. (2024). Harnessing phytohormones: Advancing plant growth and defence strategies for sustainable agriculture. *Physiologia Plantarum*, 176(3). <https://doi.org/10.1111/ppl.14307>
- Chen, H. y Yada, R. (2011). Nanotechnologies in agriculture: New tools for sustainable development. *Trends in Food Science & Technology*, 22(11), 585-594. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.07.002>
- Galindo, M., Flores, E. y Marszalek, J. E. (2023). Impact of biologically and chemically synthesized zinc oxide nanoparticles on seed germination and seedlings' growth. *Horticulturae*, 9(11), 1201. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111201>
- Ghormade, V., Deshpande, M. V. y Paknikar, K. M. (2011). Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnology Advances*, 29(6), 792-803. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.06.007>
- Golmei, L., Heisnam, P., Singh, A. P., Moirangthem, A. y Sahoo, S. (2024). Revolutionizing crop management with nanotechnology. *Just Agriculture*, 4(8). <https://justagriculture.in/2024/april/publications.html>
- Kirolinko, C. A. (2023). Caracterización funcional de factores de transcripción asociados a la respuesta a auxinas en raíces de *M. truncatula* [Tesis doctoral]. Universidad Nacional de La Plata.
- Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y. y Kumar, D. S. (2010). Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science*, 179(3), 154-163. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.04.012>
- Noormans, A. G. (2010). Impacto de la nanotecnología en la producción de alimentos. *Lámpsakos*, (4), 28-35.
- Prieto, M., Mouwen, J. M., López, S. y Cerdeño, A. (2008). Concepto de calidad en la industria agroalimentaria. *Interciencia*, 33(4), 258-261. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S037818442008000400006&script=sci_abstract
- Rao, C. N. R., Müller, A. y Cheetham, A. K. (Eds.). (2006). *The chemistry of nanomaterials: Synthesis, properties and applications*. John Wiley & Sons.
- Roberts, C. y Smith, D. (2021). The role of micronutrients in plant hormone activity: A focus on zinc and auxins. *Plant Physiology Journal*, 32(3), 102-115.
- Rodríguez, A. y Pérez, L. (2022). Advances in nanoparticle synthesis and applications. *Journal of Nanotechnology and Materials Science*, 17(2), 45-67.
- Sánchez, J. (18 de enero de 2021). *Partes de la semilla y sus funciones*. Ecología Verde. <https://www.ecologaverde.com/partes-de-la-semilla-y-sus-funciones-1973.html>
- Servin, A. y White, J. C. (2016). Nanotechnology in agriculture: Next steps for understanding, adoption, and implications. *Environmental Science & Technology*, 50(15), 7861-7870. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02114>

Heteroestructuras de materiales 2D: Abriendo caminos en la nanotecnología del futuro

Selene Concepción Acosta Morales

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

selene.acosta@uaslp.mx

Resumen

Los nanomateriales bidimensionales (2D), compuestos por nanoláminas, exhiben propiedades electrónicas, ópticas y mecánicas excepcionales. Ejemplos notables incluyen el grafeno y los dicalcogenuros de metales de transición. A partir de estos materiales se pueden crear heteroestructuras 2D-2D que consisten en capas apiladas de diferentes nanomateriales 2D. Estas heteroestructuras integran las propiedades únicas de cada material, lo que las posiciona como candidatos prometedores para revolucionar el desarrollo de dispositivos avanzados, incluidos diodos emisores de luz, transistores, ropa inteligente, celdas solares y sensores.

Palabras clave

Ciencia de materiales, nanotecnología y materiales bidimensionales.

Abstract

Two-dimensional (2D) nanomaterials, composed of nanosheets, exhibit exceptional electronic, optical and mechanical properties. Notable examples include graphene and transition metal dichalcogenides. From these materials, 2D-2D heterostructures consisting of stacked layers of different 2D nanomaterials can be created. These heterostructures integrate the unique properties of each material, positioning them as promising candidates to revolutionize the development of advanced devices, including light-emitting diodes, transistors, smart clothing, solar cells, and sensors.

Keywords

Materials science, nanotechnology and two-dimensional materials.

Un material es todo aquello que tiene una masa que ocupa un espacio y que es utilizado para construir objetos o estructuras con un propósito determinado. Ejemplos de materiales son el vidrio, la madera, un pedazo de metal, un plástico, la biomasa, etcétera. Un nanomaterial es un material en el cual al menos una de sus dimensiones (largo, alto y/o ancho) tiene un tamaño comprendido entre 1 y 100 nanómetros (nm), cuyas propiedades de reactividad química, ópticas, mecánicas y su comportamiento electrónico son significativamente diferentes a las de los materiales con dimensiones macroscópicas.

Los nanomateriales se pueden clasificar según el número de sus dimensiones, las cuales tienen un tamaño en el orden nanométrico. Cuando las tres dimensiones son iguales o menores a 100 nm se denominan materiales cero dimensionales (0D), que incluyen nanopartículas como son las metálicas y puntos cuánticos que son nanopartículas semiconductoras con tamaños menores a 10 nm. Si dos de sus dimensiones tienen tamaño nanométrico, se consideran nanomateriales unidimensionales (1D), como los nanoalambres o nanotubos. En el caso que sólo una dimensión tenga tamaño nanométrico, se denominan materiales bidimensionales (2D) o materiales laminados porque precisamente están formados por nanoláminas (Wang *et al.*, 2021) (Figura 1).

Actualmente, existen diversos tipos de nanomateriales 2D como los dicalcogenuros de metales de transición (TM por sus siglas en inglés) y el nitruro de boro hexagonal (h-BN) que tienen estructuras químicas y propiedades muy variadas. Hace apenas unas décadas estos materiales sólo existían en la teoría, no se había producido un nanomaterial bidimensional estable a temperatura ambiente. Sorpresivamente, en el año 2004, Konstantín Novoselov, Andre Geim y su grupo de trabajo, en la Universidad de Manchester, descubrieron que podían deshojar (el término correcto es exfoliar) cristales de grafito para producir capas muy finas del material hasta obtener hojas de sólo un átomo de grosor al que llamaron grafeno (Figura 2) (Novoselov *et al.*, 2004). El grafeno reportado por Geim y Novoselov exhibía propiedades mecánicas, térmicas, ópticas y electrónicas nunca antes observadas en otro material. Por ejemplo, es extremadamente flexible

y, a pesar de eso, es también increíblemente resistente. El descubrimiento del grafeno le otorgó el premio Nobel de Física a Geim y Novoselov en 2010 y despertó el interés de numerosos científicos en todo el mundo por estudiar las propiedades y aplicaciones del grafeno y, asimismo, explorar la obtención de otros tipos de materiales 2D. Veinte años después existe una gran variedad de estos nanomateriales que son estables a temperatura ambiente y que presentan asombrosas propiedades como conductividad mejorada, gran resistencia mecánica, térmica y química y una alta área superficial (Acosta, Ojeda y Quintana, 2023; Acosta y Quintana, 2024; Ares y Novoselov, 2022).

Los materiales 2D generalmente se obtienen a partir de cristales de materiales macroscópicos compuestos por múltiples láminas de grafeno, las cuales están colocadas una sobre otra de una forma altamente ordenada (Figura 3). Los átomos que conforman cada lámina están unidos entre sí mediante enlaces covalentes y las láminas inte-

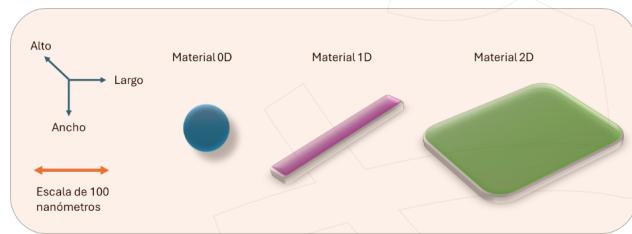


Figura 1. Clasificación de los nanomateriales según sus dimensiones nanométricas.

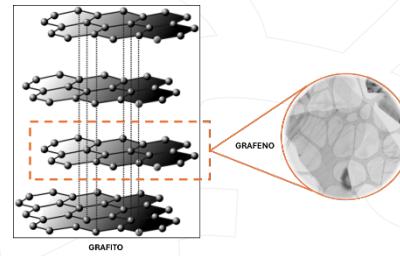


Figura 2. Obtención de grafeno a partir de grafito.

La imagen a la derecha fue obtenida en un microscopio electrónico de transmisión y muestra las láminas de grafeno.

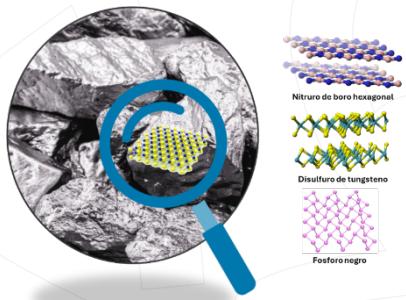


Figura 3. Cristales de materiales 2D de donde se pueden obtener nanoláminas y estructuras de algunos materiales 2D comunes.

raccionan entre ellas mediante fuerzas de atracción débiles no covalentes denominadas fuerzas de van der Waals.

Entre los materiales 2D más estudiados, después del grafeno y sus derivados, se encuentran materiales como los TMD: el disulfuro de molibdeno (MoS_2) y el disulfuro de tungsteno (WS_2). Estos materiales pueden comportarse electrónicamente como aislantes semimétalicos o metálicos, dependiendo el tipo de metal y calcógeno presentes en su estructura (Huang *et al.*, 2020). Otros ejemplos de nanomateriales 2D de alto interés científico son el fósforo negro, el cual es un semiconductor, y el h-BN, que se comporta como aislante eléctrico y que es muy resistente a la manipulación mecánica (Acosta, Pérez *et al.*, 2023; Gusmão *et al.*, 2017). También existen óxidos que tienen estructura laminar, por lo que pueden considerarse una fuente de nuevos materiales 2D, como los óxidos de molibdeno, vanadio y plomo (Figura 4) (Kumbhakar *et al.*, 2021).

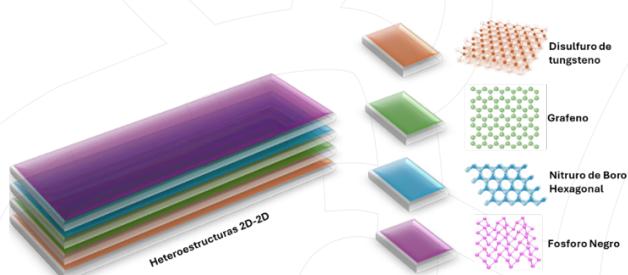


Figura 4. Heteroestructuras de materias 2D.

Los materiales 2D se pueden obtener mediante diversas técnicas, siendo las más utilizadas la exfoliación y la deposición química de vapor (cvd, por sus siglas en inglés) (Shanmugam *et al.*, 2022). En las técnicas de exfoliación se aíslan láminas a partir de estructuras 3D de materiales laminados, mientras que la técnica cvd implica que los precursores en forma de gas reaccionan con la superficie de un sustrato a alta temperatura para formar materiales laminados.

El combinar las propiedades de diferentes materiales para obtener un nuevo material ideal es algo que se ha planteado desde hace tiempo, es decir, crear un material con la alta área superficial del grafeno y la capacidad de las nanopartículas metálicas de unirse covalentemente a biomoléculas. Sin embargo, el mezclar diferentes nanomateriales no siempre lleva a la sinergia de sus propiedades, debido a la posible incompatibilidad en su estructura y propiedades químicas. Por ejemplo, al combinar nanotubos de carbono con nanopartículas de oro, la falta de una adecuada interacción superficial impide que las nanopartículas se dispersen uniformemente sobre la superficie del nanotubo, lo que provoca la formación de aglomerados.

Debido a su estructura laminar, los materiales 2D ofrecen superficies que pueden apilarse una sobre otra de manera muy eficiente para generar heteroestructuras 2D-2D (Figura 4). Estas heteroestructuras son estables debido a que las láminas, provenientes de diferentes materiales pueden unirse entre ellas mediante fuerzas de van der Waals, sin las restricciones de que sus redes cristalinas no sean compatibles (Liu *et al.*, 2016; Novoselov *et al.*, 2016). Por esta razón, las nanoláminas apiladas de diferentes compuestos suelen nombrarse heteroestructuras de van der Waals. Si consideramos el amplio número de materiales 2D estables a temperatura ambiente que se han reportado hasta ahora, se podría fabricar una extensa variedad de heteroestructuras 2D-2D con propiedades ópticas, electrónicas, químicas y mecánicas diferentes.

La técnica más usada para producir heteroestructuras 2D-2D es el ensamblaje mecánico directo, método que fue reportado por primera vez en 2010 por Cory R. Dean y sus colaboradores de la Universidad de Columbia. Este método consiste en apilar manualmente lámi-

nas delgadas de materiales 2D que fueron obtenidas mediante exfoliación o por CVD (Dean *et al.*, 2010). Estas láminas suelen colocarse inicialmente sobre un polímero de sacrificio para facilitar su manipulación. Luego se emplean técnicas de transferencia precisas que utilizan un microscopio óptico y manipuladores micromecánicos para trasladar las láminas de un sustrato a otro, permitiendo la superposición de múltiples capas al remover el polímero de sacrificio.

Por otro lado, los métodos de crecimiento directo de heteroestructuras 2D-2D son las técnicas más prometedoras para fabricar heteroestructuras a mayor escala. Estos métodos involucran el crecimiento secuencial de láminas mediante técnicas como CVD. Mediante estas técnicas se han sintetizado diversos tipos de heteroestructuras, incluyendo grafeno-hBN, MoS₂-grafeno, MoS₂-hBN, WS₂-MoS₂, entre otras (Figura 5) (Gong *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2011; Miwa *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2015).

Gracias a su gran versatilidad y control sobre sus propiedades, las heteroestructuras de van der Waals, 2D-2D, han demostrado una notable eficiencia en muchas áreas tecnológicas (Geim y Grigorieva, 2013; Liu *et al.*, 2016). Estas heteroestructuras se emplean en dispositivos electrónicos flexibles y ropa inteligente debido a sus excepcionales propiedades mecánicas, como alta flexibilidad y resistencia (Islam *et al.*, 2023; Xie *et al.*, 2023). Además, se han utilizado en la fabricación de diodos emisores de luz (LED por sus siglas en inglés) y láseres, logrando una eficiencia mejorada y una emisión de luz específica (Liao *et al.*, 2019). En el ámbito del almacenamiento de energía, las heteroestructuras 2D-2D se han implementado en celdas solares y fotovoltaicas, ofreciendo soluciones innovadoras para la conversión de energía (Molaei *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2018). Dichas heteroestructuras también han revolucionado la fabricación de transistores, proporcionando dispositivos con alta movilidad de portadores de carga y un menor consumo de energía (Gianuzzo *et al.*, 2018). Igualmente se han desarrollado sensores de gases y sensores químicos capaces de detectar moléculas en concentraciones extremadamente bajas, así como biosensores para la detección de biomoléculas, fundamentales para el monitoreo y diagnóstico de enfer-

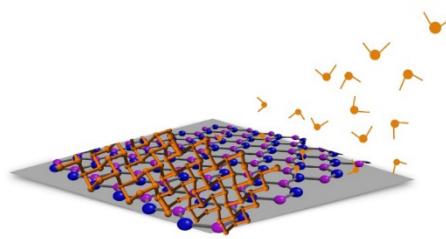


Figura 5. Representación esquemática de la fabricación de heteroestructuras 2D-2D.



Figura 6. Principales aplicaciones de las heteroestructuras de materiales 2D.

medades (Figura 6) (Hou *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2021; Sakthivel *et al.*, 2023).

La producción de heteroestructuras de materiales 2D se encuentra en una fase temprana, marcando el comienzo de un campo con un gran potencial. La investigación actual ha generado una gran cantidad de datos científicos interesantes que nos motivan a profundizar en el estudio de estas heteroestructuras y explorar sus posibles aplicaciones en la resolución de problemas tecnológicos contemporáneos. Sin embargo, a pesar de los avances prometedores, las perspectivas para alcanzar una producción en masa de heteroestructuras de materiales 2D todavía son inciertas. Es necesario superar varios desa-

fíos técnicos y económicos antes de que éstas puedan ser fabricadas a gran escala de manera viable y rentable. En consecuencia, se requiere una investigación continua y un esfuerzo coordinado entre la comunidad científica y la industria para transformar las capacidades de estos materiales en realidades tangibles y prácticas.

Agradecimientos

La autora agradece al Laboratorio de Nanoestructuras Multifuncionales del Centro de Investigación en Ciencias de la Salud y Biomedicina (CICSaB) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y al proyecto de Conahcyt Sinergía-UNAM 1564464.

Referencias

- Acosta, S., Ojeda, H. J. y Quintana, M. (2023). 2D materials towards energy conversion processes in nanofluidics. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 25(36), 24264-24277. <https://doi.org/10.1039/D3CP00702B>
- Acosta, S., Pérez, V., Sánchez, G., Hernández, J. M., Yáñez, B. y Quintana, M. (2023). Wetting properties of thin films of exfoliated hexagonal boron nitride in different solvents. *Revista Mexicana de Física*, 69(4). <https://doi.org/10.31349/REV-MEXFIS.69.041607>
- Acosta, S. y Quintana, M. (2024). Chemically functionalized 2D transition metal dichalcogenides for sensors. *Sensors*, 24(6), 1817 <https://doi.org/10.3390/S24061817>
- Ares, P. y Novoselov, K. S. (2022). Recent advances in graphene and other 2D materials. *Nano Materials Science*, 4(1), 3-9. <https://doi.org/10.1016/J.NANOMS.2021.05.002>
- Dean, C. R., Young, A. F., Meric, I., Lee, C., Wang, L., Sorgenfrei, S., Watanabe, K., Taniguchi, T., Kim, P., Shepard, K. L. y Hone, J. (2010). Boron nitride substrates for high-quality graphene electronics. *Nature Nanotechnology*, 5(10), 722-726. <https://doi.org/10.1038/nnano.2010.172>
- Geim, A. K. y Grigorieva, I. V. (2013). Van der Waals heterostructures. *Nature*, 499(7459), 419-425. <https://doi.org/10.1038/nature12385>
- Giannazzo, F., Greco, G., Roccaforte, F. y Sonde, S. S. (2018). Vertical transistors based on 2D materials: Status and prospects. *Crystals*, 8(2), 70. <https://doi.org/10.3390/crust8020070>
- Gong, Y., Lin, J., Wang, X., Shi, G., Lei, S., Lin, Z., Zou, X., Ye, G., Vajtai, R., Yakobson, B. I., Terrones, H., Terrones, M., Tay, B. K., Lou, J., Pantelides, S. T., Liu, Z., Zhou, W. y Ajayan, P. M. (2014). Vertical and in-plane heterostructures from WS₂/MoS₂ monolayers. *Nature Materials*, 13(12), 1135-1142. <https://doi.org/10.1038/nmat4091>
- Gusmão, R., Sofer, Z. y Pumera, M. (2017). Black phosphorus rediscovered: From bulk material to monolayers. *Angewandte Chemie International Edition*, 56(28), 8052-8072. <https://doi.org/10.1002/anie.201610512>
- Hou, H. L., Anichini, C., Samorì, P., Criado, A. y Prato, M. (2022). 2D Van der Waals heterostructures for chemical sensing. *Advanced Functional Materials*, 32(49). <https://doi.org/10.1002/adfm.202207065>
- Huang, H. H., Fan, X., Singh, D. J. y Zheng, W. T. (2020). Recent progress of TMD nanomaterials: Phase transitions and applications. *Nanoscale*, 12(3), 1247-1268. <https://doi.org/10.1039/C9NR08313H>
- Islam, M. R., Afroj, S. y Karim, N. (2023). Scalable production of 2D material heterostructure textiles for high-performance wearable supercapacitors. *ACS Nano*, 17(18). <https://doi.org/10.1021/acs.nano.3c06181>
- Kumbhakar, P., Chowde Gowda, C., Mahapatra, P. L., Mukherjee, M., Malviya, K. D., Chaker, M., Chandra, A., Lahiri, B., Ajayan, P. M., Jariwala, D., Singh, A. y Tiwary, C. S. (2021). Emerging 2D metal oxides and their applications. *Materials Today*, 45, 142-168. <https://doi.org/10.1016/J.MAT-TOD.2020.11.023>

- Li, Z., Yao, Z., Haidry, A. A., Luan, Y., Chen, Y., Zhang, B. Y., Xu, K., Deng, R., Hoa, N. D., Zhou, J. y Ou, J. Z. (2021). Recent advances of atomically thin 2D heterostructures in sensing applications. *Nano Today*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2021.101287>
- Liao, W., Huang, Y., Wang, H. y Zhang, H. (2019). Van der Waals heterostructures for optoelectronics: Progress and prospects. *Applied Materials Today*, 16, 435-455 <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2019.07.004>
- Liu, Y., Weiss, N. O., Duan, X., Cheng, H. C., Huang, Y. y Duan, X. (2016). Van der Waals heterostructures and devices. *Nature Reviews Materials*, 1(9). <https://doi.org/10.1038/natrevmats.2016.42>
- Liu, Z., Song, L., Zhao, S., Huang, J., Ma, L., Zhang, J., Lou, J. y Ajayan, P. M. (2011). Direct growth of graphene/hexagonal boron nitride stacked layers. *Nano Letters*, 11(5). <https://doi.org/10.1021/nl200464j>
- Miwa, J. A., Dendzik, M., Grønborg, S. S., Bianchi, M., Lauritsen, J. V., Hofmann, P. y Ulstrup, S. (2015). Van der Waals epitaxy of two-dimensional MoS₂-graphene heterostructures in ultrahigh vacuum. *ACS Nano*, 9(6). <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b02345>
- Molaei, M. J., Younas, M. y Rezakazemi, M. (2022). Van der Waals heterostructures in ultrathin 2D solar cells: State-of-the-art review. *Materials Science and Engineering: B*. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2022.115936>
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., Grigorieva, I. V. y Firsov, A. A. (2004). Electric field in atomically thin carbon films. *Science*, 306(5696), 666-669. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1102896> / SUPPL_FILE / NOVOSELOV.SOM.PDF
- Novoselov, K. S., Mishchenko, A., Carvalho, A. y Castro Neto, A. H. (2016). 2D materials and van der Waals heterostructures. *Science*, 353(6298). <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAC9439> / ASSET/37D227A0-A4A2-45A7-A10A-9F45126B919B / ASSETS / GRAPHIC / 353_AAC9439_FA.JPEG
- Sakthivel, R., Keerthi, M., Chung, R. J. y He, J. H. (2023). Heterostructures of 2D materials and their applications in biosensing. *Progress in Materials Science*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2022.101024>
- Shanmugam, V., Mensah, R. A., Babu, K., Gawusu, S., Chanda, A., Tu, Y., Neisiany, R. E., Försth, M., Sas, G. y Das, O. (2022). A review of the synthesis, properties, and applications of 2D materials. *Particle & Particle Systems Characterization*, 39(6). <https://doi.org/10.1002/PPSC.202200031>
- Wang, L., Huang, L., Tan, W. C., Feng, X., Chen, L., Huang, X. y Ang, K. W. (2018). 2D photovoltaic devices: Progress and prospects. *Small Methods*, 2(3). <https://doi.org/10.1002/SMTD.201700294>
- Wang, P., Jia, C., Huang, Y. y Duan, X. (2021). Van der Waals heterostructures by design: From 1D and 2D to 3D. *Matter*, 4(2), 552-581. <https://doi.org/10.1016/J.MATT.2020.12.015>
- Wang, S., Wang, X. y Warner, J. H. (2015). All chemical vapor deposition growth of MoS₂:h-BN vertical van der Waals heterostructures. *ACS Nano*, 9(5). <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b00655>
- Xie, J., Zhang, Y., Dai, J., Xie, Z., Xue, J., Dai, K., Zhang, F., Liu, D., Cheng, J., Kang, F., Li, B., Zhao, Y., Lin, L. y Zheng, Q. (2023). Multifunctional MoSe₂@MXene heterostructure-decorated cellulose fabric for wearable thermal therapy. *Small*, 19(9). <https://doi.org/10.1002/smll.202205853>



Contaminantes emergentes: el costo ambiental de la salud

Selene Irisais Rivera Hernández

Universidad Autónoma Metropolitana,

Unidad Azcapotzalco

sirh@azc.uam.mx

Jorge Iván Aldana González

Universidad Autónoma Metropolitana,

Unidad Azcapotzalco

jiag@azc.uam.mx

Resumen

En búsqueda de preservar la salud, los seres humanos hacen uso de diferentes fármacos para aliviar sus malestares, sin embargo, el consumo constante de estos preparados ocasiona que sus metabolitos sean excretados por el cuerpo como un residuo, por lo cual, estas sustancias terminan en las aguas residuales, aunado al hecho de que los medicamentos no son dispuestos de forma correcta cuando caducan o son desechados como sobrantes de los tratamientos. Es por esta razón que, actualmente, los fármacos son considerados contaminantes emergentes, ya que se encuentran en concentraciones en donde son potencialmente peligrosos para la salud humana y el ambiente en donde nos desenvolvemos.

Palabras clave

Ansiolíticos, antidepresivos, fármacos y sustancias químicas.

Abstract

In an unstoppable strive to preserve the species health, humans use a significant amount of different drugs to cure or alleviate their illnesses. However, constant consumption of these substances causes their associated metabolites to become a waste that is bodily excreted, thereby passing into water bodies. The problem of wastage is compounded by the fact that medications are improperly disposed of as from expiry or simply left over from treatments. For this reason, several drugs sold over the count are currently considered emerging contaminants, since they are found in concentrations that are potentially dangerous to human health and the environment.

Keywords

Anxiolytics, antidepressants, drugs, chemical compounds.

APA: Rivera, S. I. y Aldana, J. I. (2024). Contaminantes emergentes: el costo ambiental de la salud. *Azcatl*, 3, 34-37. DOI: [10.24275/AZC2024B007](https://doi.org/10.24275/AZC2024B007)

Introducción

La salud es lo más valioso que poseemos, se considera un derecho universal y cuidarla es nuestro deber y prioridad, si la perdemos, debemos afrontar consecuencias difíciles, por lo tanto, día a día realizamos una serie de acciones para conservarla, pero ¿qué entendemos por salud?

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (oms), la salud se define como «un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades» (n.d.). Este concepto es mucho más complejo de lo que parece, pues alcanzar un estado completo de bienestar no es tarea sencilla en un mundo que atraviesa una sindemia: obesidad, malnutrición y el cambio climático (Swinburn *et al.*, 2019), factores que se traducen en una serie de comorbilidades y problemas sociales.

Las comorbilidades asociadas a la obesidad y malnutrición suelen expresarse mayoritariamente en la salud física (Prausmüller *et al.*, 2022), en padecimientos como la diabetes mellitus, hipertensión, dolor crónico, inflamación, enfermedades cardiovasculares, enfermedades respiratorias, afecciones de la piel, hormonales e incluso algunos tipos de cancer. Adicional a esto, es importante destacar que derivado de estas afecciones y de los factores que afectan al ambiente, actualmente se ha presentado un incremento en los trastornos mentales, siendo los más comunes la depresión y la ansiedad (Lin *et al.*, n.d.), padecimientos que presentaron un incremento a partir de la reciente pandemia de covid-19.

Dados los problemas de salud con los que vive la mayoría de la población, además de la diversidad de medicamentos de venta libre, su consumo indiscriminado y desecho de manera incorrecta se ha generado un problema de índole ambiental, pues los fármacos se han convertido en contaminantes emergentes.

Contaminantes emergentes

Estos contaminantes pueden ser sustancias químicas de origen natural o sintéticas y también microorganismos que usualmente no se encuentran en el ambiente, pero que tienen el potencial de ingresar al ecosistema y causar efectos adversos y/o tóxicos, conocidos o sospecho-



Figura 1. Contaminantes emergentes.

sos, sobre la salud ecológica y/o humana (Figura 1), es decir, pesticidas, herbicidas, productos químicos, industriales, cosméticos y productos farmacéuticos (Antunes *et al.*, 2021). De estos últimos, los más consumidos son los antibióticos y antinflamatorios no esteroideos (AINE), que son de los más prescritos dada su triple acción terapéutica, analgésica, antiinflamatoria y antipirética además de ser de venta libre y de costo asequible; los hipoglucemiantes, prescritos para diabetes mellitus tipo 2; los antiepilepticos, antidepresivos y ansiolíticos, que muchas veces se receten en conjunto para los diferentes tipos de trastornos mentales, destacando la depresión y el trastorno de ansiedad generalizada (Antunes *et al.*, 2021) (Lin *et al.*, n.d.).

El problema de los medicamentos como contaminantes emergentes radica en el hecho de que, al no ser consumidos al alcanzar su caducidad, generalmente son desechados inadecuadamente. Por otra parte, cuando son consumidos adecuadamente, se sabe que no la totalidad de la concentración es aprovechada por nuestros organismos, siendo una parte importante excretada mediante sus metabolitos, haciendo que en los sistemas de agua municipales se generan subproductos cuyas propiedades químicas aún no se han determinado, por lo que son motivo de gran preocupación (Antunes *et al.*, 2021).

Efectos adversos

Los productos farmacéuticos al ser desechados presentan diversos efectos sobre la salud de acuerdo con la

dosis y los tiempos de exposición, sin embargo, actualmente, es difícil saber con certeza, cual es el daño real a los seres humanos. La respuesta biológica que han mostrado los sistemas vivos frente a los contaminantes emergentes incluyen: afecciones en el crecimiento y desarrollo, aumento del estrés oxidativo y envejecimiento celular, daños en el ADN de órganos como el hígado y riñón, decrecimiento en la capacidad de regeneración celular, aumento en los niveles de cortisol, efectos citogenéticos, hipoactividad, desregulación en el ciclo celular, cambio en la morfología celular, principalmente en tejidos vegetales, inhibición de la movilidad, efectos neuroplásticos en el hipocampo, cambios en la conducta que incluyen comportamientos agresivos y modificaciones en el sistema endocrino, lo que influye en la reproductividad de cada uno de los sistemas vivos estudiados.

Si bien los estudios en los sistemas vivos no pueden ser interpretados directamente para los seres humanos, se brinda una idea de lo que puede ocurrir con la salud, además estos reportes son de gran importancia, ya que, el ecosistema está siendo afectado gravemente y con ello puede disminuir la población de animales, especies vegetales que son de vital importancia para el equilibrio.

Entonces, ¿debemos dejar de consumir medicamentos?, no, pero si la población debe tomar conciencia de lo que sucede por el uso indiscriminado, la falta de educación ambiental y de tratamientos efectivos para su eliminación de los efluentes, además de desecharlos adecuadamente e ingerir los tratamientos de acuerdo con lo prescrito por el médico (Castillo-Zacarías *et al.*, 2021).

Desecho adecuado

Los fármacos caducos o que no han sido consumidos nunca se deben arrojar a los lavaderos, tarjas o excusados, tampoco hay que mezclarlos y tirarlos a la basura y vía pública; deben ser dispuestos frente a los organismos capacitados para su correcta manipulación. En México, en las farmacias y hospitales existen contenedores en donde se deben depositar, para que los expertos en el ambiente dispongan de ellos en los vertederos diseñados y evitar así la contaminación de suelos y agua.

Cuando los fármacos no son desechados de manera adecuada presentan transformaciones químicas, lo que lleva a formar sustancias potencialmente más peligrosas, también se pueden formar sustancias orgánicas persistentes, que son más difíciles de eliminar y presentan una toxicidad mayor para los seres vivos. (Creel-Miranda *et al.*, 2019).

Conclusiones

Es importante disponer de los fármacos de tal manera que pueda obtenerse valor agregado subsecuente, como demuestra la experiencia en el Área Ingeniería de Materiales, en donde, fármacos caducos, han sido utilizados como inhibidores de la corrosión de aceros en la industria del petróleo y gas. (Aldana-González *et al.*, 2019). Debemos cuidar nuestra salud eso engloba cuidar el ambiente en el que nos seamos conscientes del consumo de medicamentos, de su correcto desecho y juntos busquemos estrategias para determinar a los contaminantes emergentes y también para darles un tratamiento correcto para eliminarlos de los suelos y cuerpos de agua.

Referencias

- Aldana-González, J., Espinoza-Vázquez, A., Romero-Romo, M., Uruchurtu-Chavarín, J., & Palomar-Paradavé, M. (2019). Electrochemical evaluation of cephalothin as corrosion inhibitor for API 5L X52 steel immersed in an acid medium. Arabian Journal of Chemistry, 12(8), 3244–3253. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2015.08.033>
- Antunes, E., Vuppala Dadiyam, A. K., Sarmah, A. K., Varsha, S. S. V., Pant, K. K., Tiwari, B., & Pandey, A. (2021). Application of biochar for emerging contaminant mitigation. Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection, 7, 65–91. <https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2021.08.003>
- Castillo-Zacarías, C., Barocio, M. E., Hidalgo-Vázquez, E., Sosa-Hernández, J. E., Parra-Arroyo, L., López-Pacheco, I. Y., Barceló, D., Iqbal, H. N. M., & Parra-Saldívar, R. (2021). Antidepressant drugs as emerging contaminants: Occurrence in urban and

- non-urban waters and analytical methods for their detection. *Science of The Total Environment*, 757, 143722. <https://doi.org/10.1016/J.SCITO-TENV.2020.143722>
- Lin, J. A., Jhe, G., Vitagliano, J. A., Milliren, C. E., Spigel, R., Woods, E. R., Forman, S. F., & Richmond, T. K. (n.d.). The Association of Malnutrition, illness duration, and pre-morbid weight status with anxiety and depression symptoms in adolescents and young adults with restrictive eating disorders: a cross-sectional study. <https://doi.org/10.1186/S40337-021-00415-7>
- Organización Mundial de la Salud. (n.d.). Retrieved September 11, 2024, from <https://www.who.int/es>
- Prausmüller, S., Heitzinger, G., Pavo, N., Spinka, G., Goiliash, G., Arfsten, H., Gabler, C., Strunk, G., Hengstenberg, C., Hülsmann, M., & Bartko, P. E. (2022). Malnutrition outweighs the effect of the obesity paradox. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 13(3), 1477–1486. <https://doi.org/10.1002/JCSM.12980>
- Santiago Creel Miranda secretario de Gobernación Lic María del Carmen Segura Rangel, L., en Rober-
to Quaas Weppen Director General, M. I., en Tomás A Sánchez Pérez Coordinador de Difusión Lic Gloria Luz Ortíz Espejel, M. I., Carmen Pimentel Amador, P., González Núm, A., Juárez, C., Cuauhtémoc, D., Delfín Madrigal Núm, A., Torres Rivera Diseño Edición, P., Demetrio Vázquez Susana González Responsable de la Publicación, D., & en Tomás A Sánchez Pérez, M. I. (2001). SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES ©SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN ©CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES ©Autoras: Georgina Fernández Villagómez. www.cenapred.unam.mx
- Swinburn, B. A., Kraak, V. I., Allender, S., Atkins, V. J., Baker, P. I., Bogard, J. R., Brinsden, H., Calvillo, A., De Schutter, O., Devarajan, R., Ezzati, M., Friel, S., Goenka, S., Hammond, R. A., Hastings, G., Hawkes, C., Herrero, M., Hovmand, P. S., Howden, M., ... Dietz, W. H. (2019). The Global Syndemic of Obesity, Undernutrition, and Climate Change: The Lancet Commission report. *Lancet (London, England)*, 393(10173), 791–846. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32822-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32822-8)



Del borde a la frontera: Recuento de diálogos inconclusos entre las disciplinas básicas y sociales

Roberto Rivera Pérez

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco

Escuela Militar de Ingeniería «Mcal. Antonio José de Sucre», Cochabamba, Bolivia

FCPyS, Universidad Nacional Autónoma de México

rrp@azc.uam.mx

Resumen

El descubrimiento de fenómenos actuales, la necesidad de nuevos discursos teóricos y la recuperación de viejos paradigmas invitan a establecer diálogos horizontales entre disciplinas anteriormente fraccionadas y supuestamente irreconciliables. Es por ello que en este artículo se presentan algunos temas en los que han coincidido algunas de las corrientes teóricas de la antropología (como son la estructuralista, la antropología procesual, la marxista y la termodinámica para la supervivencia en las ciencias sociales), la sociología (desde su paradigma neoestructuralista, la sociología de los movimientos sociales, de la política y de la educación) y la administración de empresas (desde su paradigma de la administración por objetivos) con aspectos concretos de la teoría de la física mecánica; además de la invitación de esta última para analizar fenómenos de las ciencias sociales. Asimismo, se observa la importación de conceptos desde la biología y la física hacia las teorías de las ciencias sociales.

Palabras claves

Paradigma, interdisciplina, isomorfismos.

Abstract

The discovery of new phenomena, the need for new theoretical discourses and the recovery of old paradigms invite the establishment of horizontal dialogues between previously fragmented and supposedly irreconcilable disciplines. Therefore, some topics will be presented in which some of the theoretical currents of anthropology have coincided (such as structuralist, processual anthropology, Marxist and thermodynamics for survival in the social sciences), sociology (from its paradigm neostructuralist, the sociology of social movements, politics and education) and business administration (from his paradigm of management by objectives) with specific aspects of the theory of mechanical physics, followed

by the invitation that the latter does to analyze phenomena of the social sciences and, finally, the import of concepts from biology and physics to the theories of the social sciences will be observed.

Keywords

Paradigm, interdiscipline, isomorphisms.

Introducción

El desarrollo de la investigación científica se ha caracterizado por la continua confrontación paradigmática, en donde la presentación de una nueva propuesta (recientemente revisada y no fácilmente aceptada por la comunidad científica) viene a *destronar* a otro paradigma que había marcado trayectoria teórica y de implementación en el desarrollo investigativo, científico y tecnocientífico hasta ese momento, como lo sugirió Kuhn (1978). Sin embargo, el paradigma superado (o *derrotado*) no pierde su validez científica, ya que se continua empleando en la educación formal y se explora la posibilidad de que alguno de sus fundamentos pueda ser recuperado en otras áreas del conocimiento para las que originalmente no fue pensado, lo que incluye a las disciplinas totalmente ajenas a su origen. ¡Ésta es la importancia de las metodologías interdisciplinarias y transdisciplinarias!, las cuales, a partir de alguna o varias de las llamadas *herramientas para el análisis de los contenidos*, tales como el anarquismo epistémico, la arqueología de saberes, la ecología y/o los diálogos de saberes, los marcos epistémicos, los diálogos epistémicos comunes, entre otros más, como lo expone Rivera (2021b), no sólo permiten la recuperación de alguno de los postulados, la importación de las leyes y demás axiomas del paradigma previamente superado, sino que también dan paso a la formulación y presentación de isomorfismos teóricos y metodológicos (es decir, establecer conceptos y métodos semejantes entre las disciplinas), los cuales, en el fondo, permiten identificar y establecer tanto los pilares como los puentes epistemológicos entre las disciplinas convocadas, sin importar la tradicional diferencia positivista que se ha heredado del siglo xix, así como la separación entre las ciencias básicas y de la ingeniería (cbi) con las ciencias humanas y sociales (chs). Además, se debe considerar que mediante ese

ejercicio epistémico (la formulación de los isomorfismos) supeditado a aspectos metodológicos (concretamente la implementación de la interdisciplina y la transdisciplina) se busca eliminar los bordes disciplinares que están impuestos desde los orígenes de la Ilustración (siglo xviii), momento en que aconteció el llamado *debate de las dos culturas*, que se caracterizó por establecer la separación entre la filosofía y la teología con el resto de las ciencias de la época, seguido por la subdivisión que estableció la corriente positivista del siglo xix entre las ciencias duras (predominantemente matematizables) y las ciencias blandas (preferentemente cualitativas), a fin de sugerir la existencia y futura exploración de las nuevas fronteras del conocimiento.

Por lo cual, el objetivo de este artículo es mostrar algunas de las propuestas paradigmáticas mutuamente compartidas entre las disciplinas de las ciencias básicas y las ciencias sociales, estableciendo así un precedente de que sí es posible realizar esas inferencias.

Algunos diálogos desde las ciencias sociales a las ciencias básicas

Ludwig von Bertalanffy (2014) escribió el libro *Teoría general de los sistemas*, en el cual, a partir de una serie de ejercicios reflexivos e interdisciplinarios, desarrolló, caracterizó y argumentó la relación que se puede establecer entre los conceptos de los modelos, las estructuras y los sistemas desde las áreas disciplinares de la física, la química y la biología para finalmente tratar de observar, encontrar y comprender esos mismos conceptos (o sus equivalentes) en los discursos, las reflexiones y los argumentos teóricos de las disciplinas de las ciencias sociales, particularmente en la antropología (desde la perspectiva de sus corrientes teóricas de la política, la antropología marxista, estructuralista y la antropología procesual)

y en la sociología (en las corrientes de la política y de la educación). Constatando que las categorías de los modelos, los sistemas y las estructuras no sólo existen en el lenguaje científico de otras disciplinas, sino que son afines y un lenguaje común ellas. Situación que abrió la posibilidad de comenzar a desdibujar los históricos bordes disciplinares para convertirlos en fronteras y así construir parte de los primeros puentes conceptuales interdisciplinarios supeditados en isomorfismos, es decir, un vínculo teórico entre las ciencias predominantemente cuantificables y las ciencias de tendencia cualitativa (las ciencias sociales), así como considerar la opción de imaginar, suponer, buscar y formular una propuesta sobre la *teoría única*, en términos de Hawking (2016), la cual podría explicar los orígenes y los avatares de todo el universo tras haber recuperado los aportes de la mayor parte de los conocimientos científicos, sin importar su origen disciplinar.

Una segunda expresión sobre los ejercicios interdisciplinarios que se comenzaron a desarrollar con objeto de continuar la labor de desdibujar bordes y formular fronteras disciplinares del conocimiento fue la recuperación del principio de la física teórica del *demonio de Laplace* por parte de estudiosos de las ciencias sociales, donde el *demonio* se consideró como un recurso para analizar el desenlace de los fenómenos económicos y políticos, prevenir sus consecuencias, identificar los posibles participantes, los riesgos potenciales, las situaciones caóticas y los estados de crisis. Apreciación que no prosperó, a razón de la capacidad de decisión de los actores sociales (también llamado agencia) y la serie de eventos emergentes que acontecían en torno al egoísmo e intereses individuales que caracterizan a los participantes.

No obstante, la intromisión de la propuesta teórica del demonio de Laplace en contextos de las ciencias sociales provocó la emergencia de la noción de *la agencia de los sujetos*, así como la propuesta del *modelo Ishikawa* (o espina de pescado), la cual se traduce como el empleo del principio del demonio de Laplace en sentido inverso y que es generalmente empleada en la administración por objetivos (APO) para identificar las causas, condiciones y confluencias de situaciones y demás elementos que en conjunto provocan condiciones caóticas, de riesgo, de-

sastres y pérdidas económicas en el proceso administrativo; así como determinar la serie de errores que dieron lugar al fracaso de las estrategias comerciales. Por otro lado, también sirve para subrayar las fallas de las acciones bélicas de grupos guerrilleros, batallones y ejércitos enteros en contextos de los conflictos armados, como lo sugiere Rivera (2021a).

Una tercera expresión sobre el desarrollo de los ejercicios reflexivos e interdisciplinarios, mencionados al inicio de este apartado, aconteció en la corriente de la antropología estructuralista, que está centrada en las relaciones y las formas de organización social. En ese sentido, su fundador Lévi-Strauss (1985) recuperó el modelo del átomo de Hidrógeno (H) de Bohr con el fin de sugerir su propuesta del *átomo del parentesco*, el cual establece una analogía entre las cargas atómicas (protones y electrones) y las formas de las relaciones simétricas y asimétricas que se establecen en el seno de las familias nucleares, respectivamente, siendo un fundamento teórico aún vigente en los estudios sociales.

Asimismo, Lévi-Strauss (2017), conocedor del principio de la *teoría de las estructuras disipativas* que a su vez propuso el físico Ilya Prigogine (1997), sugirió la existencia de las *sociedades reloj* y las *sociedades máquinas de vapor* para tratar de explicar que los procesos no lineales que acontecen en los cambios culturales no siempre son favorables a las formas de organizaciones sociales y a sus instituciones, pues ambas se encuentran supeditadas al acceso o la limitación de los recursos energéticos escasos, entre otros elementos, tales como el contacto con otros grupos, el acceso al desarrollo tecnológico y la presencia de condiciones ambientales específicas; por consiguiente, se abrió la puerta a la formulación de la actual categoría teórica de *las sociedades complejas*, las cuales están hiperconectadas en contextos de la modernidad y la posmodernidad, como lo sugiere Alexander (2019), Castells (2019), Mills (2009) y Touraine (2006).

Sin embargo, se debe subrayar que la apuesta que oportunamente realizó Lévi-Strauss le valió una crítica directa por parte de Prigogine en su ensayo *¿Tan sólo una ilusión? Una exploración del caos al orden*, pero aun con esto se considera uno de los pioneros en establecer un

diálogo inicial entre la física mecánica (particularmente los estudios de la termodinámica) y la antropología social (en su corriente estructuralista). Lo que abrió la puerta a que otros antropólogos como Adams (2007), Varela (2006) y Tyrtania (1999) siguieran sus pasos sobre el análisis de la propuesta por la lucha, el acceso y el control de los recursos escasos –debate que también está presente en la obra de Marx (2021a y 2021b) y, por ende, en la corriente de la antropología marxista– y formularan la propuesta teórica de la *termodinámica para la supervivencia en las ciencias sociales*, la cual recuperaría y centraría parte de su fundamentación teórica del segundo principio de la termodinámica: la entropía, es decir, la cantidad de energía que se torna imposible de recuperar tras realizar un trabajo, como lo sugiere Halliday y Resnick (1992), y concretamente la llevaría al territorio de la disputa y el conflicto social por el control y el poder sobre los recursos energéticos escasos (lo que incluye el acceso a los recursos renovables, no renovables, el capital humano, el territorio, el espacio, así como los capitales económicos, políticos y simbólicos), los cuales tienden a alejar a los sistemas complejos del estado de equilibrio térmico (la muerte). Lo que ubica a esta propuesta teórica, la termodinámica para la supervivencia en las ciencias sociales, como el cuarto ejercicio interdisciplinario que se ha establecido y que ha buscado establecer diálogos horizontales entre disciplinas históricamente segmentadas y parcializadas desde la época del positivismo (siglo xix).

En la quinta expresión se identifica que la descalificación científica que sufrió la propuesta del *demonio de Maxwell*, tras no sostener totalmente la ausencia de trabajo (*w*) y con ello la desaparición de la entropía en su modelo teórico, fue su boleto de entrada al panteón de los paradigmas de la física de gases. No obstante, ese mismo modelo fue recuperado por Bourdieu (1999) quien, desde la óptica de la corriente de la sociología de la educación, sugirió la existencia de estudiantes-partículas que poco a poco van siendo seleccionados por el mismo sistema educativo (el demonio), donde la velocidad de la partícula ahora es sustituida por factores como la cantidad de ingresos económicos familiares, la herencia de la tra-

dición universitaria de la familia, el origen urbano o rural de la familia nuclear, la cantidad de capital cultural que ha heredado, entre otros muchos factores. De aquí la explicación del por qué, en algunos casos, para los estudiantes-partículas volverse profesionista universitario es una obligación –propia de la tradición familiar– y en otros es una posibilidad esperanzadora, pero a final de cuentas es sólo una posibilidad, a pesar del esfuerzo familiar.

Como parte del desenlace de las confrontaciones paradigmáticas que caracterizan a las revoluciones científicas, en términos de Kuhn (1978), las y los investigadores tienden a participar y asociarse voluntariamente a corrientes teóricas que emplean en sus propios campos disciplinares; asimismo, forman grupos de especialistas y compiten entre ellos con el objeto de realizar descubrimientos científicos y presentar sus propuestas. Finalmente, los ejercicios reflexivos y la competencia entre grupos de investigadores, en más de una ocasión, han generado los llamados *discursos paralelos*, que son aquellas reflexiones, ideas, descubrimientos y postulados que aparecen (o emergen) simultáneamente en condiciones de investigación análogas, a pesar de la diferencia idiomática, las corrientes ideológicas y/o la distancia geográfica, desarrollándose siempre de manera contemporánea, es decir, en períodos de tiempo semejantes.

Es en este preciso momento que se puede hablar sobre el fenómeno de la resonancia, tema que pertenece al campo de la física mecánica, la cual se puede describir como aquel fenómeno supeditado al incremento de la amplitud de una fuerza periódica aplicada a una frecuencia natural del sistema en el que actúa. En ese sentido, los sociólogos Niklas Luhmann y Sergio Tamayo, en dos trabajos totalmente independientes, recuperan este concepto tal como lo hacen los discursos paralelos. Luhmann (1992) sugirió la incorporación del principio teórico de la resonancia al análisis de los movimientos sociales, mas no logró encontrar todas las bases empíricas para su desarrollo. A diferencia de Tamayo (2022), quien consideró lo mismo pero lo combinó con la noción de los procesos históricos de larga duración que dejan resabios sociales, esto es, cuentas pendientes y aún por saldar entre la so-

ciedad y el Estado, como la matanza del 02 de octubre de 1968 o los 43 estudiantes desaparecidos de Ayotzinapa, cuyos reclamos son recuperados por otros movimientos y formas de organizaciones sociales contemporáneas. Otro ejemplo son los actuales acontecimientos y expresiones de los movimientos feministas (entre los que se incluyen los paros universitarios de Las Panteras Violetas y el fenómeno de los tendederos del acoso que se ha realizado en instituciones públicas), los cuales son resultado de la lucha por los derechos de las mujeres que encontró sustento en la década de los 70, batalla que por su parte se fortaleció en las prácticas de resistencia y desafío feminista de la década de los 30 y éstas, a su vez, en los orígenes del movimiento por el reconocimiento de la igualdad de los derechos humanos que nace en el seno de la misma Revolución francesa (1789).

Una segunda expresión del desarrollo de discursos paralelos encontró sus orígenes en el momento en que el antropólogo Gluckman (1958) sugirió la metodología de *análisis de una situación social*, la cual se caracteriza por identificar a un gran número de actores sociales, sus vínculos familiares, los roles jerárquicos, las asociaciones institucionales, las membresías, las amistades y enemistades, provocando una intrincada red de relaciones que se va tejiendo en circunstancias específicas. Por las características de esta propuesta metodológica, parecía que podría existir una analogía isomórfica con la naciente *teoría de redes*, sin embargo, no se había desarrollado ese ejercicio hasta que aparecieron los trabajos teóricos de Tamayo (2016 y 2022), Rosemberg (2020) y Rivera (2024), quienes en cuatro investigaciones totalmente independientes y en disímiles contextos geográficos y culturales consideraron la integración de ambas categorías teóricas y metodológicas, teniendo resultados semejantes entre sus hallazgos y reflexiones.

Una invitación al diálogo desde las ciencias básicas a las ciencias sociales

Los fenómenos físicos de las arenas movedizas en el desierto, las avalanchas de nieve o los derrumbes de tie-

rra y escombros fueron analizados por Per Bak (1996), quien llamó *criticalidad autoorganizada* al justo momento en que una diminuta unidad de partícula (que puede ir desde un copo de nieve, un grano de arena o una piedra cualquiera) altera la situación de un frágil estado de equilibrio y provoca un punto crítico, que a su vez genera reacciones en cadena (deslices o avalanchas) que se expresan no sólo en el sitio en donde intervino esa unidad de partícula, sino que se extienden a otros espacios vecinos que se pueden encontrar desde unos cuantos milímetros hasta varios metros de distancia del punto crítico; además de considerar que un solo punto crítico podría generar la existencia de nuevos e independientes puntos críticos en los espacios vecinos en los que intervino en un inicio.

Un aspecto fundamental es que fue el mismo Per Bak quien sugirió la posibilidad de extender la categoría de ese fenómeno a las ciencias sociales, más nunca explica el cómo se podría hacer y cuáles serían las condiciones de su exposición. Posteriormente, los físicos Cocho y Miramontes (2014), ambos miembros de la Universidad Nacional Autónoma de México, reinvestigan y recuperan el fenómeno de la criticalidad autoorganizada, ratifican la invitación de Per Bak, pero tampoco dan indicios a qué campo disciplinar concreto de las ciencias sociales debería estar enfocado y cuáles serían las condiciones de este fenómeno.

Tomando en consideración lo anterior, Rivera (2022), quien fue asesorado por el físico Alexander de Pomposo, realizó una investigación que logró conjuntar el reclamo popular que realizan las masas sociales homogéneas frente a las instituciones del Estado, pero con la distinción de que los miembros de esas masas sociales se pueden reorganizar y transformar en facciones de movimientos sociales coordinados y otras formas de organización para el reclamo social, que al mismo tiempo generan situaciones y puntos críticos (propios del fenómeno de la criticalidad autoorganizada) en el seno del sistema político. Lo que dio lugar a la propuesta del *modelo catalizador no lineal de los conflictos sociales de escalada*, el cual, casual y felizmente, encontró su propia verificación y operativi-

dad tras los sucesos del 06 de enero del 2021 con el asalto popular al Capitolio de los Estados Unidos de América.

Diálogos entre las ciencias básicas y las ciencias sociales

En el primer apartado se expusieron algunos de los encuentros fomentados desde las ciencias sociales a las ciencias básicas (o *las ciencias duras*, en términos de la corriente del pensamiento positivista). Ahora corresponde realizar el recorrido en sentido inverso, abordando dos propuestas que realizaron algunos de los estudiosos de las ciencias básicas (provenientes de la biología y la física) para la aplicación de sus propios resultados en campos de las teorías de las ciencias sociales.

Los biólogos Maturana y Varela (1994), inspirados en gran parte por los aportes de Oparin, Darwin y Schrödinger sobre los orígenes de la vida, formularon y caracterizaron el concepto de la *autopoiesis* como aquella capacidad de los sistemas complejos por reproducirse y compartir las cualidades que les permite su propia trascendencia a pesar de los cambios emergentes del contexto y fue el mismo Maturana (a pesar del descontento de Varela) quien sugirió la extrapolación de esa categoría a las ciencias sociales, con el propósito de comprender cómo es que las instituciones se adaptan y reconfiguran a pesar de los cambios sociales y de los eventos emergentes del contexto; apuesta que fue recuperada por Luhmann (1992), quien la ha considerado como parte de las categorías que emplea en sus análisis y demás reflexiones que realiza en el marco de la corriente teórica de la estructura funcional de la sociología.

Por otra parte, el premio nobel de física Gell-Mann (1995), apoyado del principio de la tercera ley de la termodinámica (la cual sugiere que nunca se puede alcanzar la temperatura del cero absoluto), propuso la categoría de *los hechos congelados*, la cual se caracteriza por toda clase de momentos de cisma, riesgo y de crisis social, que a razón de las dinámicas sociales y los efectos que acontecieron siguen teniendo repercusión en la memoria histórica de los pobladores. Por ejemplo, ¿qué cubano puede olvidar que los marines norteamericanos ori-

naron la estatua de José Martí en el año de 1949?; cuando se realiza una afronta futbolística entre Argentina e Inglaterra, ¿será posible que aún prevalezcan los sentimientos nacionales por la Guerra por las Malvinas del año 1982?; en el encuentro deportivo de México vs. Estados Unidos, aparte del sentimiento de competencia, ¿todavía estará presente el reclamo social por la segunda intervención norteamericana de 1845 y con ello la pérdida de más de la mitad del territorio mexicano?

Conclusión

Los efectos históricos del llamado paradigma simplificador, caracterizado por la corriente del pensamiento positivista que también es disyuntivo (fraccionador de los fenómenos) y determinista, ha enseñado y subrayado la necesidad de que las y los estudiosos disciplinares se deben especializar al máximo en su propia área de conocimiento, compartiendo ocasionalmente algunos avances, desarrollos y propuestas con las y los interesados provenientes de otras áreas disciplinares pero del mismo rubro, sean éstas ciencias básicas o ciencias sociales. Lo que fomenta el énfasis en los bordes disciplinares y contados encuentros entre especialistas de disciplinas afines.

No obstante, el descubrimiento y reconocimiento de las teorías, los paradigmas de las ciencias en general (sean básicas o sociales) y las perspectivas metodológicas, desde una óptica de bordes disciplinares, ya no están respondiendo totalmente a la presencia de nuevos fenómenos y pesquisas de una realidad que presenta múltiples planos y dimensiones, es decir, un mismo fenómeno se puede observar desde distintas miradas disciplinares y con ello obtener múltiples resultados y nuevas perspectivas. Por ello, se ha comenzado a hablar sobre la necesidad de establecer fronteras epistémicas (o del conocimiento) en donde había bordes disciplinares, esto aunado al empleo de las metodologías interdisciplinarias y transdisciplinarias supeditadas a la construcción de puentes conceptuales (*isomorfismos*), seguida por la recuperación parcial de algunos paradigmas previamente superados, así como la mutua invitación a establecer un diálogo horizontal y no jerárquico entre disciplinas científicas que estaban histó-

ricamente segmentadas. Lo que ha venido a enriquecer, sugerir nuevos temas y tender puentes de mutuo conocimiento e intercambio entre áreas disciplinares totalmente ajenas y diferentes.

Finalmente, podemos o no estar de acuerdo con los experimentos, las reflexiones y las extrapolaciones teóricas que actualmente se están realizando, y de los cuales solamente se han mencionado algunos, pero si todo el tiempo buscamos caminar en certidumbres y aciertos, a fin de evitar la pena y el riesgo, en qué momento podríamos mejorar nuestros propios alcances y con ello cambiar los bordes de nuestros tópicos disciplinares por nuevas fronteras y horizontes por explorar y descubrir.

Referencias

- Adams, R. N. (2007). *La red de expansión humana*. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. Universidad Autónoma Metropolitana. Universidad Iberoamericana.
- Alexander, J. C. (2019). *Sociología cultural. Formas de clasificación en las sociedades complejas*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. Siglo XXI Editores.
- Bak, P. (1996). *How nature work. The science of self-organized criticality*. Copernicus Book. https://neurocurso.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/05/per-bak_how-nature-works_-the-science-of-self-organized-criticality-copernicus-1996.pdf
- Bertalanffy, L. V. (2014). *Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica.
- Bourdieu, P. (1999). *Meditaciones pascalianas*. Editorial Anagrama.
- Castells, M. (2019). *Comunicación y poder*. Siglo XXI Editores.
- Cocho, G. y Miramontes, P. (2014). Patrones y procesos en la naturaleza. La importancia de los protectores. En C. Carrillo, *Matemáticas: la gramática de la naturaleza. El lenguaje de la complejidad y los fenómenos no lineales* (Vol. 2). Universidad Nacional Autónoma de México. Siglo XXI Editores.
- Gell-Mann, M. (1995). *El quark y el jaguar. Aventuras en lo simple y lo complejo*. Metatemas Tusquets Editores.
- Gluckman, M. (1958). *Análisis de una situación social en Zululandia moderna*. Institute for African Studies.
- Halliday, D. y Resnick, R. (1992). *Física. Parte 1*. Compañía Editorial Continental.
- Hawking, S. (2016). *La teoría del todo. El origen y el destino del universo*. Debolsillo.
- Kuhn, T. S. (1978). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica.
- Lévi-Strauss, C. (1985). *Las estructuras elementales del parentesco*. RBA Libros.
- Lévi-Strauss, C. (2017). *Tristes trópicos*. Ediciones Paidós.
- Luhmann, N. (1992). *Sociología del riesgo*. Universidad Iberoamericana. Universidad de Guadalajara.
- Marx, K. (2021a). *Contribución a la crítica de la economía política*. Siglo XXI Editores.
- Marx, K. (2021b). *Introducción general a la crítica de la economía política*. Siglo XXI Editores.
- Maturana, H. y Varela, F. (1994). *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: La organización de lo vivo*. Editorial Universitaria Lumen.
- Mills, W. C. (2009). *La imaginación sociológica*. Fondo de Cultura Económica.
- Prigogine, I. (1997). *¿Tan sólo una ilusión? Una exploración del caos al orden*. Metatemas Tusquets Editores.
- Rivera, R. (2021a). Modelos lineales y no lineales para la investigación en ciencias sociales. En J. A. Andrade (Comp.), *Investigación en ciencias sociales y transdisciplina*. Universidad de San Buenaventura.
- Rivera, R. (2021b). Una propuesta más para el reencuentro disciplinar: Diálogos epistémicos comunes. En M. V. Nava, A. Medina y E. Bocciolesi (Eds.), *Enfoques y construcciones de la investigación educativa en estudios de posgrado* (pp. 96-120). Castellanos Editores Digital.
- Rivera, R. (2022). Modelo catalizador no lineal sobre conflictos sociales de escalada. *593 Digital Publisher*, 2(2).
- Rivera, R. (2024). Embarazo adolescente y el impacto de la gobernanza en algunos de los municipios de Mo-

- relos. En I. M. López, G. Hernández y A. E. González (Coords.), *Gobernanza y políticas públicas en los gobiernos locales del estado de Morelos*. Tirant Lo Blanch México.
- Rosemberg, F. (2020). Complejidad, redes sociales y antropología. En W. L. Morales y T. Valdez, *Perspectivas desde la complejidad y ciencias sociales*. El Colegio de Morelos.
- Tamayo, S. (2016). *Espacios y repertorios de la protesta*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Tamayo, S. (2022). *La revolución de las conciencias: Resonancias históricas, cultura de diseño y disputa del poder*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Touraine, A. (2006). *Critica de la modernidad*. Fondo de Cultura Económica.
- Tyrtania, L. (1999). *Termodinámica de la supervivencia para las ciencias sociales*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Varela, R. (2006). *Expansión de sistemas y relaciones de poder*. Universidad Autónoma Metropolitana.

