AZCATL

Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

Año 3. Número 4. Enero-junio 2025, DOI: 10.24275/AZC20254A

Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Casa abierta al tiempo
Universidad Autónoma Metropolitana

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. Alejandro León Galicia
Dr. Luciano Roberto Fernández Sola

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

Lic. Liliana Ramírez Nuño
Corrección de estilo

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

El diseño de esta cubierta es un *collage* creado por el diseñador en Photoshop a partir de tres imágenes producidas en el *software* de inteligencia artificial generativa Gemini de Google.

Tabla de contenidos

Editorial 1

G-Astronomía. Una experiencia de aprendizaje de la astronomía a partir de la gastronomía 3
Israel Fetecua Soto
Sandra Juliana Enríquez Bernal

La amenaza invisible de los químicos eternos 8
Sandra Loera Serna

¿Has escuchado hablar de los huecos espectrales del Wi-Fi? 14
Jesús René González Torres
Genaro Hernández Valdez
Mario Alberto Ramírez-Reyna

Aspectos de la socavación en puentes mexicanos 20
María de la Consolación Trinidad Juana Gómez Soberón
José Giovanni Cruz Vargas

De la física a los movimientos sociales 26
Roberto Rivera Pérez

Ciberseguridad mediante inteligencia artificial 32
Luis Alberto Flores Montaño
Jacobo Sandoval Gutiérrez

Sentimientos en palabras: desentrañando las emociones de las personas adultas mayores 38
Angeles Belém Priego Sánchez
Alejandra Lizeth Cuesta Millán
Rosa María Flores Martínez

AZCATL. Año 3, Número 4, enero-junio de 2025, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Prolongación Canal de Miramontes 3855, col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, alcaldía Tlalpan, C.P. 14387, Ciudad de México, México, y, av. San Pablo 420, col. Nueva El Rosario, alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02128, Ciudad de México, México; tel. 55 5318 9528. página electrónica de la revista https://azcatl.azc.uam.mx/ y dirección electrónica: ggps@azc.uam.mx. Editor responsable: Dra. Grethell Georgina Pérez Sánchez. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título núm. 04-2023-050317153000-102, ISSN: 3061-7510, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Dra. Grethell Georgina Pérez Sánchez, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Unidad Azcapotzalco, edificio P, primer piso, av. San Pablo 420, col. Nueva El Rosario, alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02128, Ciudad de México, México; Fecha de última modificación: 30 de junio de 2025. Tamaño del archivo 15.5 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.

AZCATL
Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

Editorial

Concluimos la edición del número cuatro de *Azcatl* con el reconocimiento a la labor académica del maestro en ciencias Gerardo Aragón González†, miembro fundador e integrante del Comité Editorial de esta revista. El maestro Aragón fue una pieza fundamental para que este proyecto se concretara, por lo que su labor invaluable permanecerá viva en *Azcatl* y en otras iniciativas. Los miembros del Comité Editorial agradecemos tu impulso y perseverancia en este proyecto, así como en la formación de tantas generaciones de ingenieros y, sobre todo, tu entrega en la transmisión del conocimiento.

En el primer artículo, los autores nos presentan una impensable combinación entre la astronomía y la gastronomía. Una interesante propuesta de una experiencia multisensorial para el aprendizaje de la astronomía a partir una muestra gastronómica, prototipo didáctico enfocado especialmente a personas ciegas y débiles visuales.

El siguiente apartado nos lleva a una necesaria reflexión sobre los efectos nocivos a la salud que provocan los químicos sintéticos. Un texto que crea conciencia sobre cómo impactan nuestros hábitos de consumo en el medio ambiente, proponiendo alternativas de acción que cualquier persona puede implementar en su día a día para mitigar la amenaza de los químicos eternos.

Aunque todos hemos escuchado hablar sobre el Wi-Fi, este tercer artículo te sorprenderá con una explicación sobre la ocupación de las señales Wi-Fi en el espectro radioeléctrico y cómo el identificar los huecos espectrales en éste podría mejorar el uso eficiente de las comunicaciones. Un documento de divulgación técnica que define el espectro radioeléctrico, destacando su relevancia en las comunicaciones inalámbricas.

En el cuarto apartado se habla sobre el fenómeno de socavación, el cual daña considerablemente a los puentes. Este trabajo se centra en estas estructuras que encontramos, particularmente, en las carreteras de México. Los autores detallan

las principales causas que provocan la socavación, así como sus consecuencias. Asimismo, nos presentan estadísticas y sugieren medidas de prevención para responder adecuadamente a esta problemática.

«De la física a los movimientos sociales» es un ejercicio reflexivo muy nutrido que expone la relación entre la física de partículas y la memoria, la cual deriva en determinadas acciones colectivas en contextos de reclamo social. Un interesante texto que responde a preguntas sobre el vínculo entre la física de fluidos, las multitudes y los movimientos sociales.

El sexto artículo nos entrega una investigación donde los autores comparten una propuesta para proteger a un sistema embebido de los ciberataques, usando un modelo de inteligencia artificial (IA). Una metodología que comprende el diseño del sistema, el desarrollo de un entorno de prueba y la integración del modelo de IA para detectar y minimizar las amenazas.

En el séptimo trabajo se expone una propuesta metodológica para la detección de emociones en personas mayores con base en sus palabras, con lo cual se podrían detectar tempranamente problemas de salud mental. Un texto que también nos invita a reflexionar acerca del trato que le damos a nuestros adultos mayores, sobre como el valorar y comprender su forma de comunicarse impacta en su dignidad y bienestar general.

Esperamos que los temas presentados en este número contribuyan a enriquecer el conocimiento en sus áreas de interés y que promuevan el diálogo, la sana discusión y el intercambio de ideas, generando así un crisol académico que aporte valor a la sociedad.

AZCATL
Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

G-Astronomía. Una experiencia de aprendizaje de la astronomía a partir de la gastronomía

Israel Fetecua Soto
Unicafam
israel.fetecua@unicafam.edu.co

Sandra Juliana Enríquez Bernal
Unicafam
sandra.enriquez@unicafam.edu.co

Resumen

Este artículo explora las potencialidades de la enseñanza de la astronomía a partir de la gastronomía, con fundamento en el aprendizaje multisensorial, la cognición corporizada y el *storytelling*. Para ello, se sigue una metodología de creación interdisciplinar basada en el modelo proyectual de Munari y el *storytelling*, a través de la cual se exponen tres prototipos didácticos basados en experiencias gastronómicas para acercar a toda persona, con especial énfasis a la comunidad ciega y débil visual, a los conceptos astronómicos del sistema solar, los meteoritos y el eclipse de Sol.

Palabras clave

Astronomía, gastronomía y multisensorialidad.

Abstract

In this paper, we explore the possibilities to teach astronomy through gastronomy, based on multisensory learning, embodiment and storytelling. To achieve this, we follow an interdisciplinary methodology based on Munari´s projective model and the storytelling, through this approach, we present 3 didactical prototypes based on gastronomical experiences that bring the whole community closer to astronomical concepts, with a special emphasis on blind and partially sighted people to the concepts of: Solar System, Meteorite and Solar eclipse.

Keywords

Astronomy, gastronomy, multisensoriality.

APA: Fetecua, I. (2025). G-Astronomía. Una experiencia de aprendizaje de la astronomía a partir de la gastronomía . *Azcatl, 4,* 3-7.
DOI: 10.24275/AZC20251A001

Introducción

La astronomía es una ciencia que usualmente se vive y se enseña a partir de experiencias visuales, ya sea con observaciones a través de un telescopio, a simple vista o por medio de ecuaciones que nos permiten acercarnos a los conceptos que desde milenios han deslumbrado al ser humano; sin embargo, sería interesante preguntarnos, ¿será posible generar experiencias de aprendizaje sobre astronomía a partir de la gastronomía?, donde el concepto astronómico se vuelve sabor, olor, color y textura. Es aquí donde se ubica esta propuesta de enseñanza de la astronomía para generar las más deliciosas recetas de aprendizaje.

Según algunas teorías del aprendizaje, existe evidencia de que se involucran más redes neuronales en actividades multisensoriales; asimismo, sentidos como el gusto o el olfato están fuertemente vinculados con el hipocampo —una de las zonas activas en la memoria episódica—. (Schunk, 2012). En dichas teorías, también se evidencia que la atención es fundamental para que se genere cualquier aprendizaje y las redes de aprendizaje conceptual se fortalezcan y se mantengan en el tiempo a través de la memoria a largo plazo, la cual se relaciona con la memoria episódica (Posner y Rothbart, 2014).

La experiencia de aprendizaje que se propone parte del concepto de la cognición corporizada (*embodiment*); éste es un enfoque teórico y empírico de las ciencias cognitivas, que le da igual importancia al cerebro, al cuerpo y al entorno en los procesos cognitivos y se opone al modelo computacional donde los procesos mentales son lo más importante y el cuerpo es simplemente un ejecutor de una acción (Macrine y Fugate, 2022). Es por esto que surge nuestro interés de generar experiencias multisensoriales de aprendizaje de la astronomía a través de la gastronomía y del *storytelling*, siendo este último una estrategia comunicativa que busca hacer memorable la información al estructurarla de una manera adecuada a través de elementos que relacionan la narrativa con los sentidos, la atención y la emoción. (de Jesus, 2017)

La relación astronomía-gastronomía aún es un campo emergente, no obstante, existen algunas investigaciones muy interesantes como la de Trotta (2017), Youvan (2024) y García *et al.* (2018), quienes indagan desde distintas perspectivas el tema. Igualmente, este artículo aporta a la construcción del campo y expone algunas de las experiencias de aprendizaje en las cuáles se busca generar un acercamiento a los conceptos astronómicos a partir de platos gastronómicos, así como explorar las potencialidades de estas experiencias didácticas en la enseñanza de la astronomía a personas en condición de ceguera o debilidad visual.

Metodología

Todos los prototipos didácticos gastronómicos propuestos parten de una temática astronómica que se eligió trabajar, donde se realizó un trabajo interdisciplinar lidereado por la doctora Sandra Enríquez en la parte gastronómica y el doctor Israel Fetecua en el aspecto astronómico. La metodología que se siguió se basa en el método proyectual de Munari (Fuentes, 2014) y se muestra en la Figura 1.

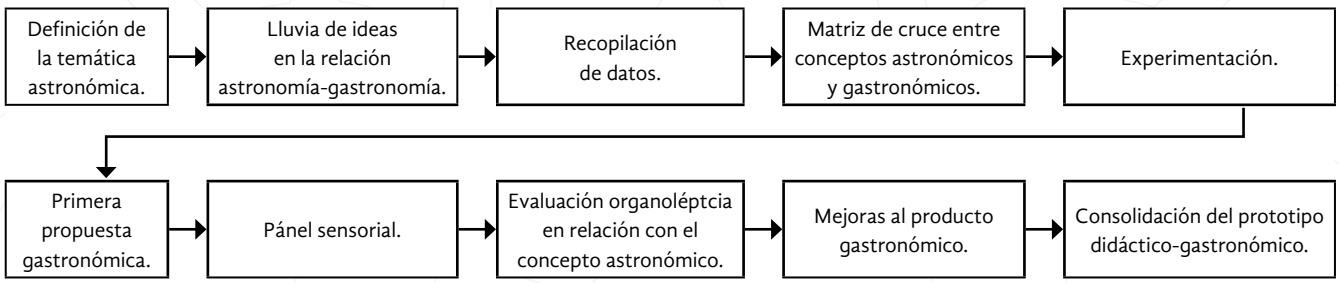

Figura 1. Metodología de creación de prototipos didácticos gastronómicos.

A continuación ilustraremos, a manera de ejemplo, cómo se desarrolló el prototipo didáctico *Un eclipse de sabores* mediante la metodología de la Figura 1.

La temática astronómica fue el eclipse solar, a partir de ésta se realizó una lluvia de ideas sobre el concepto astronómico y cómo representarlo desde la gastronomía; posteriormente, se recabaron datos relevantes y se generó una matriz de cruce en Excel, en la cual se ubican en las filas los cuerpos celestes (por ejemplo el Sol) y en las columnas sus características fisicoquímicas (temperatura, dureza, forma y composición química), las cuales se pueden evocar a través de las propiedades organolépticas del alimento que se quiera diseñar (sabor, color, olor, textura y sonido) (Hernández, 2005). Posteriormente se generó un plato de prueba, se realizó un panel sensorial con por lo menos cinco personas y se evaluó la relación plato-concepto gastronómico; se realizaron las mejoras que surgieron de la evaluación y se consolidó el prototipo didáctico gastronómico para compartirlo con los participantes.

Esta metodología se ha ido refinando y más allá de diseñar productos o prototipos didácticos, se quiere generar una experiencia de aprendizaje de la astronomía a partir de la gastronomía. Es por ello que además de la estructura esquemática del desarrollo del producto, se propone una narrativa basada en el *storytelling* (Djaforova *et al.,* 2023), lo que nos permite generar en el participante toda una experiencia de aprendizaje que sea duradera en el tiempo, ya que generamos un contexto unido a una experiencia multisensorial, construyendo un espacio de inclusión que le permita, tanto a las personas sin ceguera como a las que tengan alguna condición de ceguera parcial o total, vivenciar los espacios de aprendizaje.

Figura 2. Los sabores del espacio en el planetario de Bogotá (30 de septiembre de 2016).

Resultados

A continuación, se presentan algunos de los prototipos didácticos desarrollados y expuestos como experiencias de aprendizaje.

Los sabores del espacio (2016)

Evoca al sistema solar a partir de algunas particularidades de los principales astros que lo componen, resaltando características fisicoquímicas de cada uno. El Sol es una mezcla de crema de leche, fresas, melón en pequeñas esferas y hielo seco que le da una textura efervescente. De igual manera, los planetas, a través de diversos cocteles, evocan colores, olores y sabores relacionados con las características de cada uno, por ejemplo, la atmósfera de ácido sulfúrico de venus con colores verdes y sabo-

Figura 3. Degustando el nacimiento de un meteorito. De izquierda a derecha: Meteoroide, Meteoro, Meteorito. Festival de astronomía de Villa de Leyva, Colombia (8 de febrero de 2019).

Figura 4. Reto eclipse Tatacoa, Colombia, 2023 (14 de octubre de 2023).

res fuertes y el color rojizo de marte a través de cereza magenta, así como preparaciones con bizcochuelos cubiertos de crema de leche para evocar la naturaleza de los planetas gaseosos y tierra de chocolate para representar el cinturón de asteroides.

Degustando el nacimiento de un meteorito (2019-2020-2023)

Explica a través de un plato en tres tiempos cómo una roca espacial se puede convertir en un meteorito. La fase Meteoroide es una galleta crocante tipo *tuille* con menta que logra evocar la textura y fría temperatura de la roca que se acerca a la tierra. La fase Meteorito es un dulce y picante flexi ganache a base de chocolate blanco y petazetas con ají cundinamarqués de Colombia que permite saborear el aumento de temperatura de la roca a miles de grados celsius y el fenómeno de ablación que produce estallidos en el momento de la interacción de la roca con la atmósfera terrestre; estos meteoros son los que llamamos comúnmente estrellas fugaces, las cuales pueden ser de distintos colores. Por último, la fase Meteorito se evoca con una tierra de chocolate a base de hígado de pollo que permite sentir la textura final de la roca condrita y realza el sabor de los meteoritos metálicos, permitiendo explicar las características generales de éstos, que son las rocas que finalmente caen a la tierra.

Un eclipse de sabores. (2023-2024)

Se trata de un plato en dos tiempos que ilustra el fenómeno astronómico del eclipse de Sol. El Sol está construido a partir de una técnica de cocina molecular llamada esferificación, este proceso permite encapsular en una esfera un refresco muy usual en Colombia llamado Colombiana, que es dulce y de color naranja; ahí mismo también se encapsula el picante y el jengibre, que dan la sensación esférica del Sol; finalmente, cuando se muerde dicha esfera surge la sensación de calor y picante. Este sabor se eclipsa con una Luna hecha de azúcar, agua, glucosa y menta que permite eclipsar y refrescar el sabor del Sol.

Con ocasión del eclipse parcial de Sol del 14 de octubre de 2023, que fue visible en Colombia, se propuso este prototipo didáctico que tenía por objetivo acercar al público en general, pero con especial énfasis a la comunidad ciega y débil visual, al concepto del eclipse de Sol. El plato anteriormente mencionado hizo parte del reto eclipse Tatacoa 2023 que, además de esta actividad, contemplaba cuatro prototipos didácticos más, lo que permitió a la comunidad disfrutar de una experiencia multisensorial del eclipse.

Asimismo, se realizó una encuesta para evaluar el impacto de estos prototipos didácticos en el público. A la pregunta: ¿el plato gastronómico le ayudó a comprender mejor el concepto de un eclipse solar?, el 86.7 % expresó que le ayudó mucho y el 13.3 % respondió que le ayudo a comprender el concepto. Igualmente, en las preguntas abiertas surgieron comentarios como: “Al comer el Sol, el encapsulado cumplió su propósito de que al momento de mascarlo se reventara y diera esa sensación de líquido picante”, ”al comer a la Luna, sí se percibió esa sensación de mentolado”, comentarios que indican que el concepto de eclipse solar fue asimilado desde una perspectiva sensorial.

Reto eclipse Tatacoa, Colombia (14 de octubre de 2023)

Posteriormente, el 8 de abril de 2024, en el eclipse total de Sol que se observó de manera majestuosa en Mazatlán, México, se llevó a cabo el reto eclipse Mazatlán 2024, que incluía el prototipo didáctico Eclipse de sabores, pero reconstruido y adaptado por los chefs de la Universidad Autónoma de Sinaloa, además de otros prototipos didácticos que se mejoraron en un trabajo conjunto con la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A), con la doctora Grethell Pérez lidereando y la valiosa colaboración de la Dirección de Comunicación del Conocimiento de la UAM con el doctor Mario de Leo Winkler.

Conclusiones

La generación de experiencias de aprendizaje de la astronomía multisensorial a través de la gastronomía y el *storytelling* que se compartieron en este artículo evidencian las potencialidades que existen en la enseñanza de la astronomía a la población en general y, especialmente, a la comunidad en condición de ceguera o debilidad visual, generando de esta manera un espacio de aprendizaje inclusivo. Se pretende continuar trabajando en esta línea y estudiar el impacto de estas experiencias de aprendizaje en toda la sociedad.

Referencias

Djaforova, N., Dimitriadou, A., Zefi, L. y Turetken, O. (2023). The art of serious game design: a framework and methodology. *AIS Transactions on Human Computer Interaction*, *15*(3), 322-349.

Fuentes, F. (2014). *Diseño de imágenes para ciegos, material didáctico para niños con discapacidad visual*. Universidad Politécnica de Valencia. https://doi.org/https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/37882

García, N., García, S., Andreo, P. y Almela, L. (2018). Ciencia en la cocina: una propuesta innovadora para enseñar Física y Química en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, *36*(3), 179-198. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2473

Hernández, E. (2005). *Evaluación sensorial*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

de Jesús, L. (2017). *Impacte do multi-sensory storytelling no estado de alerta em jovens e adultos com multideficiência* [Tesis de maestría]. Politecnico do Porto.

Macrine, S. y Fugate, J. (2022). *Movement matters: how embodied cognition informs teaching and learning*. MIT Press.

Posner, M. y Rothbart, M. (2014). Attention to learning of school subjects. *Trends in Neuroscience and Education*, *3*(1), 14-17. https://doi.org/10.1016/j.tine.2014.02.003

Schunk, D. (2012). *Teorías del aprendizaje* (6.ª ed.). Pearson.

Trotta, R. (2017). *Cosmology and astrophysics, science communication and education G-Astronomy*. Scientific American. https://Www.Scientificamerican.Com/Blog/Guest-Blog/Where-Astronomy-and-Gastronomy-Meet/. https://robertotrotta.com/g-astronomy-the-universe-at-the-tip-of-your-tongue/

Youvan, D. (2024). *Celestial culinary science: integrating cosmology and sous vide cooking for an enlightening dining experience*. ResearchGate. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12842.22726

AZCATL
Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

La amenaza invisible de los químicos eternos

Sandra Loera Serna
Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco
sls@azc.uam.mx

Resumen

Las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS) son una gran familia de compuestos químicos sintéticos que se han utilizado ampliamente desde la década de 1940 en una variedad de industrias y productos de consumo. Su característica principal es la fuerte unión carbono-flúor, que les confiere propiedades únicas como la repelencia al agua y al aceite, la resistencia al calor y la estabilidad química. No obstante, dicha característica es la que también los convierte en contaminantes persistentes, conocidos como *químicos eternos*. Las PFAS se asocian a innumerables efectos adversos a la salud, entre los que se encuentran el cáncer, las enfermedades de la tiroides y los daños hepáticos.

Palabras clave

Químicos eternos, perfluoroalquilado y polifluoroalquilado.

Abstract

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are a large family of synthetic chemical compounds that have been widely used since the 1940s in a variety of industries and consumer products. Their main characteristic is the strong carbon-fluorine bond, which gives them unique properties such as water and oil repellency, heat resistance, and chemical stability. However, this characteristic is what makes them persistent pollutants, known as *forever chemicals*. PFAS are associated with countless adverse health effects, including cancer, thyroid disease, and liver damage.

Keywords

Forever chemicals, perfluoroalkyl, and polyfluoroalkyl.

APA: Loera, S. (2025). La amenaza invisible de los químicos eternos. Azcat*l*, *4*, 8-13. DOI: 10.24275/AZC2025A002

Introducción

Desde las sartenes antiadherentes en las cocinas hasta la ropa impermeable que protege de la lluvia, una invisible red de compuestos químicos nos rodea. Entre estos compuestos, un grupo particularmente preocupante ha ganado notoriedad por su persistencia implacable: las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas, conocidas comúnmente como PFAS o *químicos eternos* (Glüge *et al.,* 2020). Estos compuestos sintéticos, desarrollados desde la década de 1940, se han integrado a una asombrosa variedad de productos de consumo e industriales, otorgándoles propiedades únicas como la resistencia al agua, a las grasas y a las altas temperaturas. Sin embargo, esta cualidad que los hace tan útiles es la misma que los convierte en una seria amenaza para el ambiente y la salud humana (Renfrew y Pearson, 2021).

La característica distintiva de las PFAS reside en su fuerte enlace carbono-flúor, unión química prácticamente indestructible en condiciones ambientales naturales. En la Figura 1 se presenta la estructura química de dos sustancias perfluoroalquiladas: *a*) ácido perfluorooctanoico (PFOA) y *b*) sulfonato de perfluorooctano (PFOS), ambos compuestos se emplean en la industria textil, del cuero, del papel y del envasado; en particular, el primero se emplea en la síntesis de recubrimientos de teflón. La robustez molecular de las PFAS les confiere una excepcional resistencia a la degradación, permitiéndoles persistir indefinidamente en el suelo, el agua y el aire. Esta persistencia, sumada a su capacidad de bioacumulación —es decir, su acumulación progresiva en los organismos vivos a medida que ascienden en la cadena alimentaria—, ha generado una creciente alarma entre la comunidad científica y la sociedad en general. Las PFAS se han detectado en prácticamente todos los rincones del planeta, desde las regiones polares (Hartz *et al.,* 2023; Kwok *et al.,* 2013) hasta en la sangre de la mayoría de las personas, incluyendo a recién nacidos (van Beijsterveldt *et al.,* 2022).

La omnipresencia de las PFAS plantea interrogantes cruciales sobre los riesgos que representan para la salud. Estudios científicos han vinculado la exposición a estos compuestos con una serie de efectos adversos, que van desde problemas reproductivos (Qiu *et al.,* 2025) y alteraciones del sistema inmunológico (Kilari *et al.,* 2025) hasta un mayor riesgo de desarrollar ciertos tipos de cáncer (Hofmann, 2023). La preocupación se intensifica al considerar el impacto desproporcionado que pueden tener en grupos vulnerables, como mujeres embarazadas, lactantes y niños, cuyos organismos en desarrollo son especialmente susceptibles a los efectos tóxicos de estas sustancias (Fábelová *et al.,* 2023).

En este artículo se explora el mundo de las PFAS desentrañando su presencia ubicua en la vida cotidiana y examinando sus vías de exposición a las que nos enfrentamos. Además, se revisa la situación actual en cuanto a la regulación y los esfuerzos que se están llevando a cabo para mitigar el impacto de estos contaminantes persistentes. Finalmente, se hace un llamado a la acción, invitando a la reflexión y a la participación en la búsqueda de soluciones para este desafío ambiental y de salud pública que nos concierne a todos.

Exposición y regulación

Las PFAS son una familia de miles de compuestos químicos sintéticos (4 700 aproximadamente) que se han incorporado a una amplia gama de productos de uso diario (Peritore *et al.,* 2023). La exposición a dichos compuestos puede ocurrir a través de diversas vías, por ejemplo, en alimentos y agua, esto sucede debido a que las PFAS pueden contaminar el agua potable a través de descargas industriales o filtraciones desde sitios contaminados

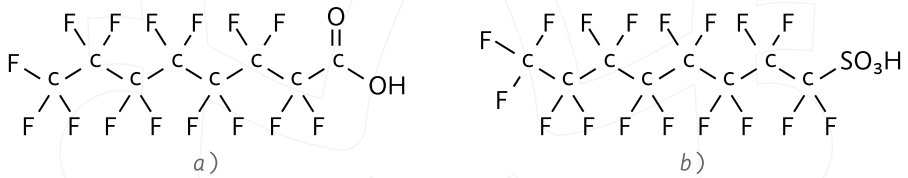

Figura 1. *a*) ácido perfluorooctanoico y *b*) sulfonato de perfluorooctano.

(Crone *et al.,* 2019). También pueden migrar de los envases (papel, cartón y plástico) a los alimentos (Seltenrich, 2020). Igualmente, el consumo de pescado contaminado es una vía de exposición (Christensen *et al.,* 2017). Asimismo, los sartenes antiadherentes con recubrimiento de teflón (PTFE) pueden liberar pequeñas cantidades de PFAS, especialmente si se sobrecalientan o se rayan. Además, se han identificado en alfombras, tapicerías, ropa impermeable, productos de limpieza y algunos cosméticos. Por otra parte, el polvo doméstico también puede acumular estas sustancias y ser inhalado o ingerido, especialmente por niños pequeños que gatean y se llevan las manos a la boca (Minucci *et al.,* 2024).

A nivel global, la preocupación por la exposición a las PFAS es creciente. La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2023) reconoce la persistencia y la bioacumulación de estas sustancias, por lo que, en el 2023, publicó un documento donde anunció la elaboración de las directrices para la calidad del agua potable, centrándose en el PFOA y el PFOS, en los que se considera la evaluación de carcinogenicidad de dichos compuestos. En la página electrónica de la OMS se puede consultar toda la documentación que se ha reunido hasta el momento. En la actualidad, existe la *Guía para la calidad del agua de consumo humano*, pero se trata de un documento elaborado en el 2011, en el cual no existen referencias concretas sobre los límites de exposición a PFAS en agua potable (OMS, 2011).

En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) (2024) anunció en abril de 2024 las regulaciones para seis compuestos de PFAS, donde estableció el nivel legalmente exigible, denominado nivel máximo de contaminantes (MCL). El documento completo se puede consultar en la página de la EPA.

Por su parte, en Europa, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) ha establecido los niveles de ingesta tolerables para cuatro PFAS principales, incluyendo el PFOA y el PFOS; estas ingestas se basan en la evaluación de los riesgos para la salud humana. Dicho reglamento de la Comisión Europea, elaborado en 2023, se establecen límites máximos para sustancias perfluoradas en alimentos, como carnes y despojos comestibles, pescados (diferenciando variedades), crustáceos y huevo (Comisión Europea, 2023). El documento se puede consultar en diferentes idiomas en la página de la Unión Europea.

Debido a su comprobada toxicidad, su capacidad de bioacumularse en los organismos vivos, su persistencia en el ambiente y su facilidad para transportarse a largas distancias (Dirección de la Oficina de la Secretaría del Convenio de Estocolmo, 2023), los PFOS y PFOA fueron incorporados en 2009 al anexo A del Convenio de Estocolmo, que regula la prohibición y limitación de la producción y el uso de productos químicos industriales y pesticidas. Esta inclusión implica que los países adheridos al convenio deben implementar medidas para eliminar o reducir las emisiones de estas sustancias al entorno. El principal desafío en relación con las PFAS radica en controlar su liberación al ambiente, mediante la restricción de su empleo en la industria y el comercio, buscando así una disminución de su concentración e impacto en los seres vivos (Peritore *et al.,* 2023).

En México, la regulación sobre las PFAS aún está en desarrollo. No existen límites máximos permisibles específicos para estas sustancias en agua potable a nivel nacional. Sin embargo, la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) ha revisado la situación y se mantiene al tanto de las regulaciones internacionales y la evidencia científica. La referencia más cercana en cuanto a un límite establecido se encuentra en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, que indica el límite permisible de compuestos orgánicos halogenados absorbibles fijos pero, como ya se mencionó, no hay ningún indicador en cuanto a PFAS. Es crucial que en México se realicen estudios para evaluar la presencia de estos compuestos en el agua, los alimentos y el ambiente, para así establecer medidas de protección a la población, ya que el diagnóstico nacional del uso de contaminantes orgánicos persistentes data de septiembre de 2017 (Atenodoro, 2017).

Toxicidad de PFAS

Estudios experimentales en animales han sido clave para dilucidar los efectos a largo plazo de las PFAS, revelando su capacidad para alterar la función tiroidea e inducir cáncer (Olsen *et al.,* 2007).

En estudios de toxicidad aguda se determinaron los valores de LD50 (dosis letal media) para PFOS (251-271 mg/kg oral) y PFOA (250-500 mg/kg oral en hembras, >500 mg/kg en machos) (Kudo y Kawashima, 2003). La inhalación de PFOS mostró una CL50 (concentración letal media) de 5.2 mg/L en ratas, con efectos adicionales como pérdida de peso y problemas respiratorios (Tsuda, 2016). La inhalación de PFOA en aerosol (durante 4 horas) resultó en una CL50 de 980 ng/m³ en ratas macho, con hepatomegalia y opacidad corneal (Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos, 2015).

En estudios de carcinogenicidad crónica, se observó que el PFOA induce diversos tumores en ratas, incluyendo adenomas hepáticos, de células de Leydig y pancreáticos, mientras que el PFOS sólo induce adenomas hepáticos (Chang *et al.,* 2014). Un estudio con PFOS en ratas Sprague-Dawley macho mostró un aumento en adenomas foliculares tiroideos tras la exposición a 20 ppm (Butenhoff *et al.,* 2012). La exposición prolongada a PFAS en ratas y macacos se asocia con toxicidad crónica, especialmente hepática, y alteraciones en el metabolismo lipídico.

Recomendaciones generales

A raíz de la información presentada es posible que el lector se pregunte, ¿cómo se pueden prevenir los riesgos de las PFAS, si éstas se encuentran por todos lados? Como prevención, sí existe una serie de recomendaciones o cambios que se pueden implementar de forma sencilla:

En referencia al agua de consumo

Utilizar filtros domésticos certificados para eliminar PFAS. Los filtros de carbón activado granular y los sistemas de ósmosis inversa son opciones efectivas.

Si la contaminación es significativa y no tienes acceso a un sistema de filtrado adecuado, considera usar agua embotellada de fuentes confiables para beber, cocinar y preparar alimentos para bebés, mujeres embarazadas o personas de grupos vulnerables.

En alimentos y utensilios de cocina

Reducir el consumo de alimentos envasados en papel, cartón o con recubrimientos resistentes a las grasas. Algunos envases de comida rápida, como cajas de pizza y bolsas de palomitas de microondas pueden contener PFAS. Opta por alimentos frescos y prepara las palomitas en la estufa.

Evitar utensilios de cocina antiadherentes dañados. Las sartenes con recubrimientos antiadherentes rayados o deteriorados pueden liberar más PFAS al cocinar. Reemplaza los utensilios dañados y evita sobrecalentar las sartenes antiadherentes. Cocina a fuego medio o bajo y evita utensilios metálicos que puedan rayar la superficie.

En productos del hogar

Buscar productos sin PFAS, por ejemplo, al comprar alfombras, tapicería, ropa impermeable, productos de limpieza y cosméticos busca etiquetas que indiquen la ausencia de PFAS, fluoro, perfluoro, PTFE o teflón.

Existen bases de datos, que se pueden consultar, de productos libres de PFAS. En particular, *PFAS Central*, en Estados Unidos, ofrece bases de datos (https://pfascentral.org/pfas-free-products/) que ayudan a identificar estos productos. Aunque se enfocan en el mercado estadounidense, pueden dar una idea de las marcas que priorizan la eliminación de estos químicos.

Lavar la ropa nueva antes de usarla, esto puede ayudar a eliminar algunos químicos, incluyendo posibles recubrimientos con PFAS.

Aspirar y limpiar el polvo regularmente, pues el polvo doméstico puede acumular PFAS. Aspirar con filtros HEPA y limpiar las superficies con un paño húmedo puede ayudar a reducir la exposición por inhalación e ingestión.

Sobre la lactancia

Por último, a pesar de la posible presencia de PFAS en la leche materna, la OMS y otras organizaciones de salud continúan recomendando la lactancia materna debido a sus múltiples beneficios para la salud de los recién nacidos.

Finalmente, si te preocupa la exposición a PFAS, consulta con tu médico, sigue las recomendaciones de las autoridades sanitarias locales y mantente al tanto de las investigaciones y regulaciones relacionadas con estos compuestos. La información puede ayudarnos a prevenir

la sobreexposición, a limitar el consumo y a tomar conciencia del uso excesivo de sustancias químicas, en especial cuando éstas son *eternas*.

Referencias

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2024). *Per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Final PFAS national primary drinking water regulation*. https://www.epa.gov/sdwa/and-polyfluoroalkyl-substances-pfas

Atenodoro, J. (2017). *Diagnóstico nacional del uso de nuevos contaminantes orgánicos persistentes (COP) en México*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/312964/pfos_reporte_finald.pdf

van Beijsterveldt, I. A., van Zelst, B. D., De Fluiter, K. S., van den Berg, S. A., van der Steen, M. y Hokken-Koelega, A. C. (2022). Poly-and perfluoroalkyl substances (PFAS) exposure through infant feeding in early life. *Environment International*, *164*. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107274

Butenhoff, J. L., Chang, S. C., Olsen, G. W. y Thomford, P. J. (2012). Chronic dietary toxicity and carcinogenicity study with potassium perfluorooctanesulfonate in Sprague Dawley rats. *Toxicology*, *293*(1-3), 1-15. https://doi.org/10.1016/j.tox.2012.01.003

Chang, E. T., Adami, H. O., Boffetta, P., Cole, P., Starr, T. B. y Mandel, J. S. (2014). A critical review of perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate exposure and cancer risk in humans. *Critical Reviews in Toxicology*, *44*(sup 1), 1-81. https://doi.org/10.3109/10408444.2014.905767

Christensen, K. Y., Raymond, M., Blackowicz, M., Liu, Y., Thompson, B. A., Anderson, H. A. y Turyk, M. (2017). Perfluoroalkyl substances and fish consumption. *Environmental Research*, *154*, 145-151. https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.12.032

Comisión Europea. (2023). *Reglamento (UE) 2023/915 de la Comisión de 25 de abril de 2023*. Unión Europea. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/txt/?uri=celex%3a32023r0915

Crone, B. C., Speth, T. F., Wahman, D. G., Smith, S. J., Abulikemu, G., Kleiner, E. J. y Pressman, J. G. (2019). Occurrence of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in source water and their treatment in drinking water. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *49*(24), 2359-2396. https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1614848.

Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos. (2015). *Resumen de salud pública: Perfluoroalquilos*. Agency for Toxic Substances and Diseases Registry. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs200.pdf

Dirección de la Oficina de la Secretaría del Convenio de Estocolmo. (2023). *Todos los contaminantes orgánicos persistentes enumerados en el Convenio de Estocolmo*. Convenio de Estocolmo. https://chm.pops.int/theconvention/thepops/listingofpops/tabid/2509/default.aspx.

Fábelová, L., Beneito, A., Casas, M., Colles, A., Dalsager, L., Den Hond, E., Dereumeaux, C., Ferguson, K., Gilles, L., Govarts, E., Irizar, A., Lopez, M. J., Montazeri, P., Morrens, B., Patayová, H., Rausová, K., Richterová, D., Rodriguez, L., Santa Marina..., Murínová, L. P. (2023). PFAS levels and exposure determinants in sensitive population groups. *Chemosphere*, *313*. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137530

Glüge, J., Scheringer, M., Cousins, I. T., DeWitt, J. C., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Ng, C. A., Trier, X. y Wang, Z. (2020). An overview of the uses of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environmental Science: Processes & Impacts*, *22*(12), 2345-2373. https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/em/d0em00291g

Hartz, W. F., Björnsdotter, M. K., Yeung, L. W., Hodson, A., Thomas, E. R., Humby, J. D., Day, C., Ericson, I., Kärrman, A. y Kallenborn, R. (2023). Levels

and distribution profiles of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in a high arctic svalbard ice core. *Science of the Total Environment*, *871*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161830

Hofmann, J. (2023). *Exposición a PFAS y riesgo de cáncer*. National Cancer Institute. https://dceg-cancer-gov.translate.goog/research/what-we-study/pfas?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=wa

Kilari, T., Singh Suresh, A., Begum, R. F., Singh, A., Venkkatesh, P. y Vellapandian, C. (2025). Effect of per and poly-fluoroalkyl substances on pregnancy and child development. *Current Pediatric Reviews*, *21*(2), 142. https://www.eurekaselect.com/article/137241

Kudo, N. y Kawashima, Y. (2003). Toxicity and toxicokinetics of perfluorooctanoic acid in humans and animals. *The Journal of Toxicological Sciences*, *28*(2), 49-57. https://doi.org/10.2131/jts.28.49

Kwok, K. Y., Yamazaki, E., Yamashita, N., Taniyasu, S., Murphy, M. B., Horii, Y., Petrick, G., Kallerborn, R., Kannan, K., Murano, K. y Lam, P. K. (2013). Transport of perfluoroalkyl substances (PFAS) from an arctic glacier to downstream locations: implications for sources. *Science of the Total Environment*, *447*, 46-55. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.091

Minucci, J. M., DeLuca, N. M., Durant, J. T., Goodwin, B., Kowalski, P., Scruton, K., Thomas, K. y Hubal, E. A. C. (2024). Linking exposure to per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in house dust and biomonitoring data in eight impacted communities. *Environment International*, *188*. https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108756

Olsen, G. W., Burris, J. M., Ehresman, D. J., Froehlich, J. W., Seacat, A. M., Butenhoff, J. L. y Zobel, L. R. (2007). Half-life of serum elimination of perfluorooctanesulfonate, perfluorohexanesulfonate, and perfluorooctanoate in retired fluorochemical production workers. *Environmental Health Perspectives*, *115*(9), 1298-1305. https://doi.org/10.1289/ehp.1000

Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guía para la calidad del agua de consumo humano* (4ª ed.). Repositorio Institucional para Compartir Información. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1

Organización Mundial de la Salud. (2023). *PFOS and PFOA in drinking-water: background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality*. https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/chemical-hazards-in-drinking-water/per-and-polyfluoroalkyl-substances

Peritore, A. F., Gugliandolo, E., Cuzzocrea, S., Crupi, R. y Britti, D. (2023). Current review of increasing animal health threat of per-and polyfluoroalkyl substances (pfas): harms, limitations, and alternatives to manage their toxicity. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(14). https://doi.org/10.3390/ijms241411707

Qiu, A., Luo, K., Liu, H., Huang, J., Liu, X., Zhang, J., Chen, D., Cheng, W. y Huang, W. (2025). Associations between per-and polyfluoroalkyl substances and menstrual cycle regularity in reproductive-aged female: a cross-sectional study. *Emerging Contaminants*, *11*(1). https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100438

Renfrew, D. y Pearson, T. W. (2021). The social life of the «forever chemical»: PFAS pollution legacies and toxic events. *Environment and Society*, *12*(1), 146-163. https://doi.org/10.3167/ares.2021.120109

Seltenrich, N. (2020). PFAS in food packaging: a hot, greasy exposure. *Environmental Health Perspectives*, *128*(5). https://doi.org/10.1289/ehp6335

Tsuda, S. (2016). Differential toxicity between perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA). *The Journal of Toxicological Sciences*, *41*, 27-36. https://doi.org/10.2131/jts.41.sp27

AZCATL
Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

¿Has escuchado hablar de los huecos espectrales del Wi-Fi?

Jesús René González Torres
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
jesus.glezto9@gmail.com

Genaro Hernández Valdez
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
ghv@azc.uam.mx

Mario Alberto Ramírez-Reyna
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
ma.ramirez@correo.ler.uam.mx

Resumen

El espectro radioeléctrico es esencial para nuestras comunicaciones diarias, permitiendo desde llamadas telefónicas hasta conexiones Wi-Fi. Sin embargo, no siempre está completamente ocupado, existen *huecos espectrales*, es decir, frecuencias no utilizadas en momentos y lugares específicos. Este artículo explora qué son dichos huecos en redes Wi-Fi y cómo pueden identificarse. Utilizando receptores de radio definidos por *software*, se pueden medir las potencias en los canales Wi-Fi para detectar períodos de inactividad. Identificar estos huecos abre la puerta a un uso más eficiente del espectro disponible.

Palabras clave

Espectro radioeléctrico, huecos espectrales, Wi-Fi y periodo de inactividad.

Abstract

The radio spectrum is essential for our daily communications, enabling everything from phone calls to Wi-Fi connections. However, it is not always fully occupied; there are "spectrum holes," that is, frequencies unused at specific times and locations. This article explores what these gaps are in Wi-Fi networks and how they can be identified. By using *software*-defined radio receivers, it is possible to measure the power levels in Wi-Fi channels to detect *idle* periods. Identifying these spectrum holes opens the door to a more efficient use of the available spectrum.

Keywords

Radio spectrum, spectrum holes, Wi-Fi, idle period.

APA: González, J. (2025). ¿Has escuchado hablar de los huecos espectrales del Wi-Fi? *Azcatl, 4*, 14-19. DOI: 110.24275/AZC2025A003

Introducción

¿Por qué son importantes los huecos espectrales?

En redes inalámbricas como Wi-Fi, el canal no permanece ocupado continuamente. Existen lapsos —conocidos como *huecos espectrales* o *espacios en blanco*— en los que no se registra transmisión activa. Detectarlos y caracterizarlos permite aprovechar mejor el espectro, posibilitando aplicaciones de radio cognitiva, internet de las cosas (IoT) o conectividad rural, sin interferir con los usuarios primarios.

¿Qué es el espectro radioeléctrico?

Cada vez que una persona realiza una llamada, envía un mensaje o reproduce un video en su dispositivo está utilizando un recurso esencial: el espectro radioeléctrico. Según el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT, s.f.), este espectro abarca todas las ondas electromagnéticas entre 3 kHz y 300 GHz que se propagan sin guía física. Estas ondas transportan información de forma inalámbrica y, dependiendo de su frecuencia, pueden recorrer grandes distancias o transmitir datos de alta velocidad.

El espectro es limitado y valioso. Si dos servicios usan la misma frecuencia al mismo tiempo y en el mismo lugar puede generarse interferencia, como ocurre cuando se superponen estaciones de radio. Para evitarlo, organismos reguladores —como el IFT en México— asignan bandas específicas a servicios como la telefonía móvil, televisión o GPS; además, subastan licencias que garantizan un uso ordenado.

Con el despliegue de tecnologías como 5G, IoT y comunicaciones satelitales, la demanda de espectro se incrementa, por ello, se ha explorado el uso compartido del mismo, en donde distintas tecnologías conviven sin interferencia. Asimismo, se desarrollan investigaciones sobre el uso de bandas en el rango de terahercios para nuevas aplicaciones.

Tecnología Wi-Fi

El término Wi-Fi se refiere a una tecnología de comunicación inalámbrica definida en el estándar IEEE 802.11, la cual permite la conexión de dispositivos a través de ondas de radio, sin cables, siendo ampliamente utilizada en hogares, oficinas y espacios públicos.

Una característica clave del Wi-Fi es que opera en bandas no licenciadas, principalmente en 2.4 GHz y 5 GHz, lo que significa que pueden ser utilizadas por cualquier dispositivo compatible sin necesidad de permiso especial. Es una banda que no es licenciada y consecuentemente puede ser compartida por diversas aplicaciones.

La adopción del estándar IEEE 802.11 a finales de los años noventa marcó el inicio de la era Wi-Fi en aplicaciones comerciales y domésticas.[1]

Definición y relevancia de los huecos espectrales

Los huecos espectrales (*spectrum holes* o *white spaces*) son porciones del espectro disponibles pero no utilizadas en determinados momentos o ubicaciones. Aunque el concepto se originó en el contexto de la televisión analógica, actualmente se aplica también a redes Wi-Fi y otros servicios inalámbricos (Bayhan, 2017). En una red doméstica, por ejemplo, canales como el 6 u 11 pueden estar libres si no hay transmisiones activas en ellos.

En la Figura 1 se presentan mediciones del canal 6 en distintos momentos. En la traza amarilla se observa actividad, mientras que en la naranja hay ausencia de señal, lo que representa un hueco espectral. Estos espacios pueden aprovecharse por dispositivos secundarios siempre que no interfieran con los transmisores principales.

Aunque este texto se centra en cómo detectar los huecos espectrales, vale la pena resaltar que identificarlos y aprovecharlos correctamente es fundamental para optimizar el uso del espectro, reducir la congestión en las redes inalámbricas y habilitar tecnologías como la radio

1 Entre los principales impulsores del Wi-Fi se encuentra Cees Links, quien lideró el equipo de Lucent Technologies responsable de las primeras soluciones comerciales basadas en IEEE 802.11. Más información en su perfil: https://www.linkedin.com/in/cees-links

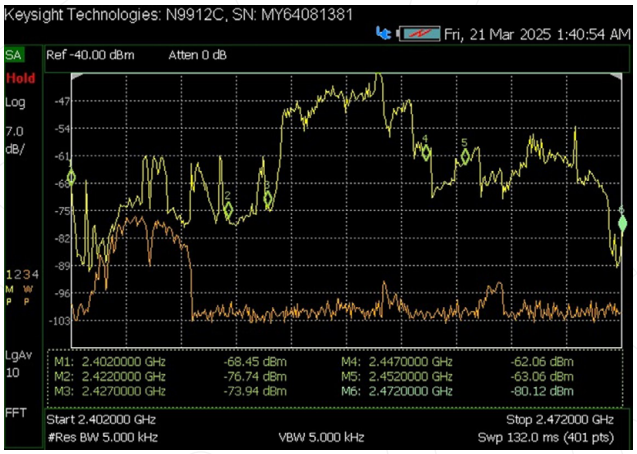

Figura 1. Dos mediciones que ejemplifican el uso del espectro de los canales 1, 6 y 11 de una red Wi-Fi que opera en la banda de los 2.4 GHz. Los intervalos de frecuencia que delimitan los marcadores M1 y M2, M3 y M4, M5 y M6 corresponden, respectivamente, a los canales 1, 6 y 11 de la red Wi-Fi. Por otra parte, el intervalo de frecuencia que delimitan los marcadores M2 y M3 (M4 y M5) es la separación (banda de resguardo) entre los canales 1 y 6 (6 y 11).

cognitiva, que hacen posible una gestión más eficiente y dinámica de estos recursos limitados.

En la Figura 1 también podemos observar dos mediciones del espectro en diferentes instantes de tiempo. La gráfica en amarillo muestra que, en ese momento, los canales 1, 6 y 11 (el canal 1 va de los 2402 MHz a los 2422 MHz; el canal 6, de los 2427 MHz a los 2447 MHz, y el canal 11, de los 2452 MHz a los 2472 MHz) están siendo utilizados, por lo tanto, se observa un cierto nivel de potencia.

Por otro lado, la gráfica en naranja muestra que solamente el canal 1 está en uso, mientras que los canales 6 y 11 no presentan potencia transmitida por algún dispositivo Wi-Fi, por lo tanto, representan dos huecos espectrales.

Estas mediciones indican que no siempre se está utilizando la red Wi-Fi en su totalidad, en consecuencia, podrían diseñarse mecanismos que permitan aprovechar esos huecos espectrales. Por ello, en la siguiente sección se detallará una metodología para identificarlos.

Cabe mencionar que la gráfica mostrada en la Figura 1 representa la potencia instantánea en el canal, la cual se obtuvo con el analizador de espectros FieldFox de Keysight Technologies. Sin embargo, las mediciones de potencia promedio del canal se realizaron utilizando el dispositivo de radio definido por *software* (SDR) modelo ADALM-Pluto del fabricante Analog Devices.

Detección de los huecos espectrales en Redes Wi-Fi

Para detectar los huecos espectrales se diseñó una estrategia para medir la potencia del espectro (lo cual es una manera de saber si está siendo utilizado o no). Como toda señal de radiofrecuencia, la señal de Wi-Fi debe alcanzar cierto nivel de potencia para considerarse una transmisión activa; para esto se usó un modelo bastante simple pero poderoso: el modelo ON/OFF. Así podemos ver el canal como un interruptor:

- ON → Hay señal, canal ocupado.
- OFF → No hay transmisión, canal libre, *hueco espectral*.

Este método nos permite detectar cuándo el canal está activo y cuándo está inactivo (conocido en inglés como *idle period*), para así aprovechar su uso (esto es lo que significa utilizarlo de manera oportunista). En la Figura 2 se puede ver una representación gráfica de cómo se utilizan a lo largo del tiempo (eje horizontal) los canales 1, 6 y 11 de una red Wi-Fi. La altura de las cajas verdes de la Figura 2 representa el nivel de potencia (eje vertical)

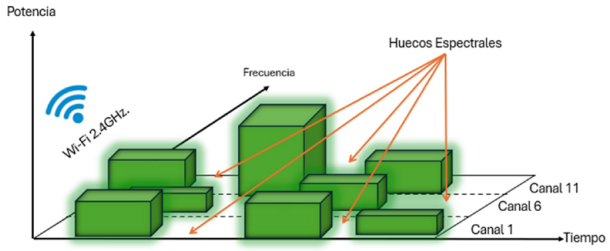

Figura 2. Representación gráfica del funcionamiento de los canales 1, 6 y 11 de una red Wi-Fi en 2.4 GHz.

de los componentes de frecuencia que se transmiten en cada canal. Las cajas verdes representan el tiempo durante el cual el canal está siendo ocupado y el espacio entre estas cajas verdes representa los periodos de inactividad en el canal (huecos espectrales) (Figura 1).

¿Cómo capturamos estos datos?

Para monitorear lo que pasa en el canal utilizamos un SDR. Este dispositivo nos permite monitorear y medir en tiempo real qué ocurre en el espectro de radiofrecuencias (Manco et al., 2022).

Usando el programa de uso libre GNU Radio, configuramos los parámetros del SDR para medir la potencia de los canales Wi-Fi. Para realizar esta medición se requiere ajustar los siguientes parámetros:

- Selección del canal. Se debe elegir un canal para enfocarnos en una parte específica del espectro (por ejemplo, podríamos seleccionar el canal 11).
- Frecuencia central. Es la frecuencia central del canal Wi-Fi cuya potencia queremos medir (por ejemplo, a partir de la Figura 1 se puede deducir que la frecuencia central del canal 11 es 2462 MHz).
- Ancho de banda del canal. Es el ancho de banda que estamos midiendo (para el canal 11 es 20 MHz, este ancho de banda está delimitado por los marcadores M5 y M6 en la Figura 1).
- Tamaño de la ventana de observación. Se refiere a durante cuánto tiempo analizamos los datos. Las mediciones se realizaron durante las 24 horas del día.

¿Y qué hicimos con los datos?

Después de recopilar las mediciones de potencia, creamos histogramas como el de la Figura 3, que nos muestra la frecuencia normalizada con la que ocurren diferentes niveles de potencia en un determinado canal de la red Wi-Fi. En esta figura, el eje horizontal representa los niveles de potencia presentes en el canal 1 de la red Wi-Fi, mientras que el eje vertical representa la frecuencia con la que ocurrieron esos valores. Asimismo, podemos visualizar claramente los intervalos de potencia que separan los estados activos (ON) de los inactivos (OFF).

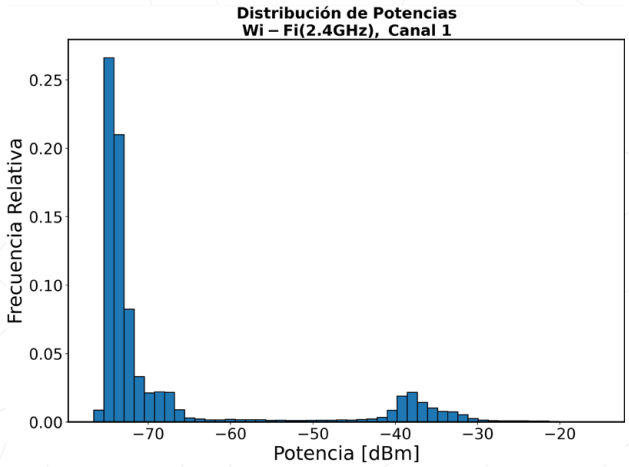

Figura 3. Distribución de potencias en el canal 1 de la red Wi-Fi 2.4 GHz.

Por ejemplo, al analizar la Figura 3 identificamos un patrón claro:

- Cuando hay transmisión activa, la potencia se concentra en el intervalo que va de los −29 dBm a los −45 dBm (es importante mencionar que, en escala logarítmica, −29 dBm es una potencia mayor a −45 dBm).
- Cuando el canal está inactivo, la potencia desciende hasta aproximadamente −70 dBm, que corresponde a la potencia de señales no deseadas conocidas como ruido (imagínese, −70 dBm en escala lineal es tan pequeño como 0.0000001 miliwatts). ¡Es prácticamente un susurro en el espectro!

En la misma figura, se observa que alrededor de −70 dBm existe una mayor cantidad de mediciones en comparación con −40 dBm, lo que indica que el canal pasa la mayor parte del tiempo sin transmitir datos. Esto abre la posibilidad de utilizar estos huecos espectrales para otras aplicaciones (Rajandekar y Sikdar, 2016; Rastegardoost y Jabbari, 2017).

¿Cómo distingue Wi-Fi los períodos de actividad e inactividad?

Para determinar con precisión cuándo el canal está en uso y cuándo permanece libre, se establece un umbral de decisión que permite clasificar su estado en dos categorías principales:

- Periodo de transmisión activa. El canal está ocupado y en uso.
- Periodos de inactividad (hueco espectral). No hay transmisión, lo que abre la posibilidad de aprovechar estos huecos espectrales para otras aplicaciones.

El umbral seleccionado para esta clasificación es −50 dBm, un valor que se encuentra dentro del intervalo definido por la norma IEEE 802.11. Este umbral actúa como la línea de corte a partir de la cual el sistema interpreta que el canal está ocupado por una transmisión de datos. Si la potencia del canal es mayor a −50 dBm indica que el canal está en periodo de transmisión activa (*busy period*), de lo contrario, está en periodo de inactividad (*idle period*).

Sin embargo, para que redes secundarias aprovechen los huecos espectrales de la red Wi-Fi, no sólo es fundamental detectarlos sino también medir y caracterizar su duración (Cruz et al., 2025). La duración del hueco espectral (*idle period*) se define como el intervalo de tiempo durante el cual un canal permanece en periodo de inactividad. En una próxima entrega sobre este tema, se explicará la metodología para medir y caracterizar la duración de los huecos espectrales, lo cual es esencial para desarrollar estrategias que permitan un uso dinámico del espectro sin causar interferencia excesiva entre las redes que lo comparten.

Conclusión

En este artículo de divulgación técnica se ha definido el espectro radioeléctrico conforme a la descripción del IFT, destacando su relevancia como recurso limitado y esencial para las comunicaciones inalámbricas. Particular atención se prestó a los huecos espectrales, entendidos como periodos de inactividad en ciertas bandas de frecuencia, cuya identificación y aprovechamiento representan una vía prometedora para mejorar la eficiencia en el uso del espectro.

Se introdujo el caso particular de las redes Wi-Fi, subrayando su operación en bandas no licenciadas —como las de 2.4 GHz— y resaltando las implicaciones de su naturaleza compartida. Este entorno, donde múltiples dispositivos pueden acceder libremente a los canales, se presenta como un escenario ideal para observar el comportamiento dinámico del espectro y explorar mecanismos de acceso oportunista.

Asimismo, se explicó un método práctico para detectar huecos espectrales en redes Wi-Fi, basado en el uso de un SDR y en la aplicación de un modelo ON/OFF que permite distinguir entre estados de transmisión activa y de inactividad. Mediante la recolección de datos y el análisis de histogramas de potencia, se demostró empíricamente la presencia de huecos espectrales en canales utilizados cotidianamente, lo cual confirma la viabilidad de aprovechar dichos espacios para otras aplicaciones sin generar interferencia.

Como perspectiva futura, se destaca la importancia de medir y modelar con precisión la duración de los huecos. Este análisis es fundamental para el desarrollo de estrategias más robustas de acceso cognitivo al espectro, lo que permitiría no sólo mejorar la eficiencia en su uso, sino también habilitar nuevas aplicaciones en contextos como el IoT, zonas rurales con conectividad limitada y sistemas de comunicaciones de emergencia que requieren canales disponibles de forma dinámica y confiable.

Referencias

Cruz, F. A., Castellanos, S. L., Hernández, G. y Rivero, M. E. (2025). Distribution and moments of the idle period and interarrival time in the G/M/1 queueing system. *IEEE Access*, *13*, pp. 34887-34902.

Ericsson. (2023). *Ericsson Mobility Report Q2 2023 update*. https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports.

Instituto Federal de Telecomunicaciones. (s.f.). *Espectro radioeléctrico*. https://www.ift.org.mx/espectro-radioelectrico/generalidades

Manco, J., Dayoub, I., Nafkha, A., Alibakhshikenari, M. y Thameur, H. B. (2022). Spectrum sensing using *software* defined radio for cognitive radio networks: a survey. *IEEE Access*, *10*, pp. 131887-131908.

Rajandekar, A. y Sikdar, B. (2016). Characterization of white spaces in Wi-Fi networks for opportunistic M2M communications. IEEE *Transactions on Communications*, *64*(12), pp. 5125-5135.

Rastegardoost N. y Jabbari B. (4-8 de diciembre de 2017). *Wi-Fi white spaces for opportunistic LTE-U* [Documento]. 2017 IEEE Global Communications Conference, Singapore.

Tlouyamma, J. y Velempini, M. (2021). Channel selection algorithm optimized for improved performance in cognitive radio networks. *Wireless Personal Communications*, *119*, 3161-3178.

AZCATL
Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

Aspectos de la socavación en puentes mexicanos

María de la Consolación Trinidad Juana Gómez Soberón
Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco
sls@azc.uam.mx

José Giovanni Cruz Vargas
Universidad Nacional Autónoma de México
yovannovic@gmail.com

Resumen

El daño en puentes puede ocasionar grandes pérdidas económicas por la reparación o reposición de la estructura o porque ésta deje de funcionar. En este sentido, uno de los problemas que ocasiona mayores afectaciones en puentes es la socavación. En este texto se comenta brevemente este fenómeno, sus causas y principales consecuencias. También se describen algunos daños en puentes de México, se comentan cifras de las consecuencias de estas afectaciones y estadísticas recientes. Finalmente, se proponen acciones que, particularmente en nuestro país, se podrían desarrollar para mitigar estos eventos.

Palabras clave

Puentes, socavación y daño.

Abstract

Bridge damage could cause huge economic losses due to the repair or replacement of the structure or because it stops function. One of the problems that cause the greatest damage to bridges is scour. This paper briefly discusses the phenomenon of bridge scour, its causes and main consequences. Some damage to bridges in Mexico are also discussed, as well as some statistics of the consequences of this damage. Finally, some actions that could be developed specifically in our country to mitigate the problem are commented.

Keywords

Bridge, scour, damage.

APA: Gómez, M. (2025). Aspectos de la socavación en puentes mexicanos. *Azcatl, 4,* 20-25. DOI: 10.24275/AZC2025A004

Introducción

Una población necesita establecer comunicación con otros centros urbanos, generar intercambios, transportar personas, salvar obstáculos y contar con vías de comunicación eficientes en caso de emergencias. Esto se logra con las llamadas líneas vitales, las cuales potencian el desarrollo de los centros urbanos. Entre las líneas vitales se encuentran los sistemas eléctricos, sistemas de agua y las carreteras. Dentro de estas últimas los puentes son elementos clave porque controlan la capacidad de las carreteras y su costo de construcción por kilómetro es mucho mayor que el de éstas.

Los puentes son estructuras con larga vida útil, en general, son irregulares y poco redundantes. Es muy importante cuidar su análisis y diseño, además de los procesos de inspección, mantenimiento y rehabilitación que cada vez son más relevantes.

Para evitar daños por diversas condiciones en los puentes es fundamental entender los fenómenos que los afectan, para así determinar los elementos y los procesos que reduzcan esos daños y optar por sistemas cuya posibilidad de falla sea mínima.

En México se han reportado daños en puentes por diversas eventualidades, como sismos, viento, corrosión, socavación (pérdida de sustento en elementos de apoyo debido al desplazamiento del suelo por la acción del agua), inadecuados procesos de diseño o construcción, cargas vehiculares diferentes a las previstas, entre otras. Aunque no hay una evaluación precisa de qué porcentaje representa cada una de estas problemáticas en los puentes nacionales, sí se sabe que la corrosión y la socavación son los principales causantes de fallas.

Concepto de socavación

La socavación en puentes afecta su estabilidad y durabilidad. Específicamente, este fenómeno se refiere a la remoción progresiva, por la acción del agua, de partículas del suelo que rodean la cimentación de los elementos de apoyo, como columnas y estribos (estructuras de sostén en los extremos del puente que soportan la carga y el empuje de tierra). Cuando se ha removido una gran cantidad de suelo se presenta la pérdida de apoyo y colapso de la estructura.

La socavación se debe a varios factores, tanto naturales como humanos, y sus principales causas son:

1. Aumento del caudal de los ríos en época de lluvias intensas, provocando una mayor presión en el lecho de los mismos, lo que provoca un arrastre de mayor sedimento.
2. Acumulación de escombros, sedimentos o vegetación en los cauces de los ríos (muchas veces por tala de árboles), lo cual puede desviar el flujo natural del agua hacia los cimientos de los puentes.
3. Errores de diseño o construcción en los puentes por falta de conocimiento sobre los efectos del agua en estas estructuras; el hecho de no protegerlos contra la erosión o por el escaso enterramiento de sus elementos.
4. Modificación humana del cauce del río que puede incrementar su velocidad y fuerza en ciertas zonas, lo que deriva en un aceleramiento de la socavación.
5. Estimación no adecuada de los efectos de socavación o de los resultados de estudios hidráulicos o hidrológicos.

Por otra parte, existen diversos tipos de socavación según el origen y localización del fenómeno (Melville y Coleman, 2000). La *socavación general* afecta a grandes áreas del río, provocando el aumento del caudal en toda una sección. La socavación producida puede afectar a varias columnas de un puente.

La *socavación local* se produce por la erosión del suelo en torno a algunos elementos de apoyo, por lo que es más peligrosa, ya que genera huecos en el terreno de soporte. En muchos casos, los remolinos de agua alrededor de los elementos de la estructura intensifican este proceso. La selección geométrica de las columnas puede reducir estos remolinos, produciendo menor interrupción al flujo del agua. La Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos utiliza un método para obtener

la profundidad de socavación local, basado en un proceso independiente del tiempo que considera la geometría de la cimentación, la condición del lecho del río y el tipo de suelo, este método se realiza mediante coeficientes de corrección (United States Departament of Transportation, 2012).

La *socavación por contracción* ocurre cuando el flujo del agua se ve forzado a pasar por una sección más estrecha del río, lo que aumenta la velocidad del agua y la erosión del suelo.

Las principales consecuencias de la socavación en puentes son:

1. Colapso parcial o total del puente. Cuando los cimientos pierden suelo de sustento, se inclinan o desploman.
2. Interrupción de las vías de comunicación, lo que genera falta de flujo, retrasos, incremento en los costos de transporte e inaccesibilidad a los servicios de emergencia. El costo por reemplazo de una estructura se define como costo directo y el que se genera por dejar de funcionar como costo indirecto. Los costos indirectos pueden ser mucho mayores que los directos y generar un impacto económico considerable a nivel local o regional.

Estadísticas del problema en México

Históricamente se han producido muchos fallos de puentes por socavación, por ejemplo, se sabe que el 60 % de los daños en puentes en el mundo son por la acción del agua, principalmente por socavación (IDVIA Ingeniería, 2020). En México no se tienen disponibles estadísticas completas similares, aunque se considera que son valores similares.

Durante eventos extremos se produce el mayor número de fallos, como los 18 puentes de la red federal de carreteras dañados durante el huracán Ingrid y la tormenta Manuel en 2013: 7 con colapso total y 11 dañados. En esta red se han reportado 44 puentes con colapso y 109 dañados de 1997 a 2023 (Frías, 2024).

Entre los ejemplos más notables de colapso total o parcial por socavación en México se encuentran el puente de Ixtapan de la Sal, en 2013; un puente en la Autopista del Sol que afectó a la industria turística; el puente Tonalá en Tabasco, en 2015; y el puente Coyuca de Benítez en 2013, que dejó sin comunicación a más de 30 comunidades rurales (Aguado y Hernández, 2013).

El costo por daño en puentes es muy variable y depende de las características de la estructura, su ubicación e importancia. Por ejemplo, Gómez (2021) indica que el costo promedio de la reparación de 39 puentes en 2021 fue de 211 millones de pesos. El costo porque la estructura deje de funcionar se estima que es cinco veces mayor al costo por reparación (Ayres, 2023).

Estudios recientes muestran un promedio de 2.5 puentes anuales con colapso parcial o total por problemas de socavación (Cruz *et al.,* 2021; Cruz, 2022). Esta información se desprende de la revisión de páginas de periódicos, reportes y demás información en la red de 1997 a 2017, contabilizando 47 estructuras. Para considerar un reporte es necesaria alguna evidencia, como una fotografía, por ello, la ubicación geográfica de los puentes contabilizados se muestra en la Figura 1.

Los puentes en esta base de datos son mayormente estructuras de longitud corta, con columnas tipo muro de mampostería y ubicados cerca de la costa del Pacífico. En la Figura 2 se presentan diagramas con las estadísticas de influencia de algunos parámetros en puentes con problemas de socavación. Como se observa en esta figura, hay mayores colapsos parciales y más daño en un solo tipo de apoyo, por igual para estribos o pilas (40 % cada uno). Parece que no importa mucho el tipo de estribo o columna, aunque se registraron más afectaciones en columnas rectangulares y estribos derramados o con alas. Por último, hay más daños en puentes de claros menores a 50 m y con ángulos entre la orientación del puente y de la carretera (ángulo de esviaje) menores al 10 %, lo cual no es raro porque el número de puentes existentes son principalmente de claros cortos y rectos. Quitando estos elementos, los puentes con longitudes entre 100 y 150 m han sufrido más daño y al parecer no importa el ángulo de esviaje.

Estadísticas como éstas ayudan a entender qué elementos o sistemas son más susceptibles y pueden reque-

Figura 1. Ubicación de los puentes colapsados.

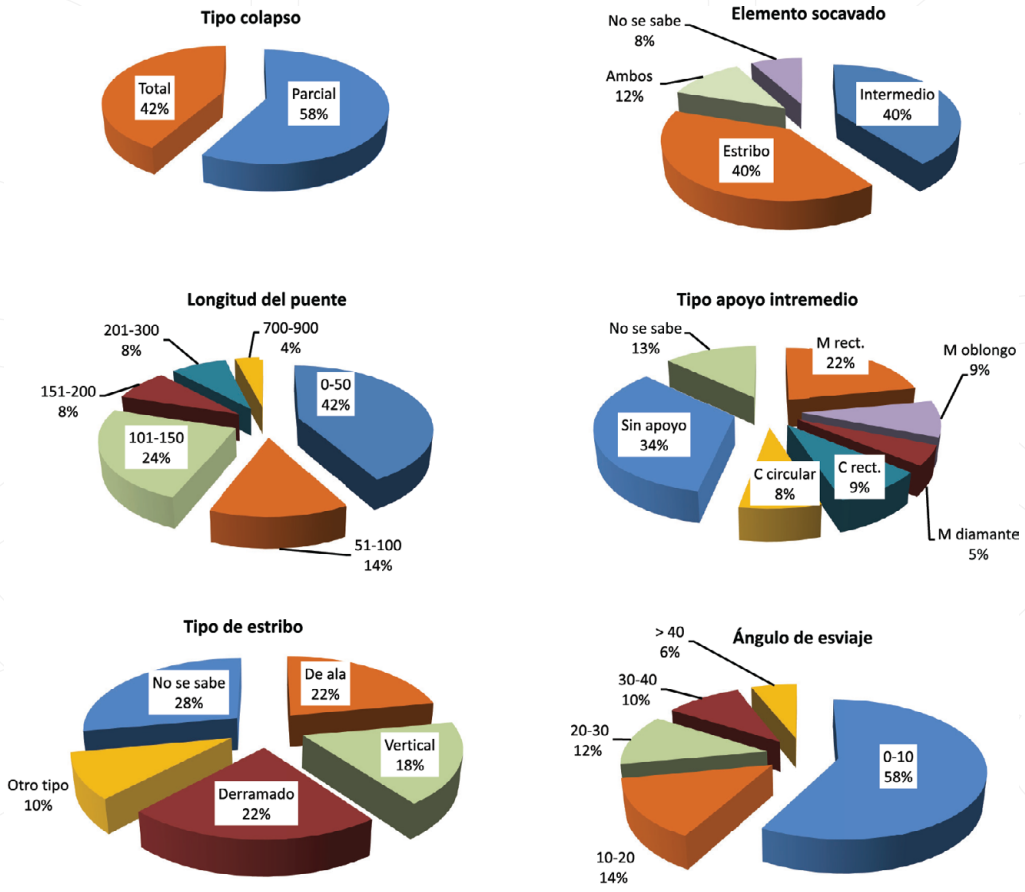

Figura 2. Diagramas de estadísticas de diferentes parámetros en puentes.

rir mayores estudios o procesos de diseño más detallados. Lamentablemente, este tipo de estadísticas completas para los puentes de nuestro país no se realizan o no están disponibles para estudio.

Medidas de prevención

Para mitigar la problemática de la socavación se brindan las siguientes recomendaciones:

- Mejorar los procesos de inspección. En México los puentes son inspeccionados usando el sistema Sipumex, en principio cada dos años. Sin embargo, es necesario incluir en este proceso una evaluación de los tiempos óptimos de inspección en puentes susceptibles de socavación, ya que es difícil y de alto costo verificar las partes de los elementos de la subestructura bajo agua. Un proceso riguroso podría indicar erosiones tempranas para tomar acciones. La difusión y apertura de esta información produciría estudios de los problemas relacionados con la socavación.
- Mejorar el diseño y mantenimiento de los puentes existentes. Un registro completo de los daños podría indicar acciones para mejorar estos procesos; el análisis forense, por ejemplo, es una técnica que se ha usado poco en México.
- Proteger zonas verdes y reforestar. La deforestación en zonas cercanas a los ríos y lagos produce mayor escurrimiento y deslizamientos, lo que aumenta el caudal de los mismos e incrementa la posibilidad de daños en puentes. La reforestación contribuye a estabilizar el suelo y a reducir la erosión.
- Monitoreo. Es importante instalar sistemas de monitoreo por instrumentación para registrar deformaciones en columnas y estribos antes de llegar a niveles límite. Asimismo, se pueden registrar variaciones en las propiedades dinámicas que indiquen cambios en la subestructura. Algunos estudios ya han utilizado estas técnicas (Anaya *et al.,* 2021).
- Se debe ampliar el número de estaciones de registro de tirantes con mediciones constantes para conocer el gasto.
- Colocar elementos de protección, como pilotes hasta las capas profundas, rocas o elementos de concreto alrededor de pilas y estribos para disipar la energía y evitar la erosión, espigones río arriba del puente para reducir la velocidad del agua, etcétera (Gómez *et al.,* 2017).
- Ampliar los estudios para complementar el conocimiento sobre el tema, particularmente en el aspecto del multipeligro, ya que las estructuras son más sensibles bajo esta condición.

Comentarios finales

La pérdida de apoyo por socavación en puentes ha generado costos importantes en México y el mundo, tanto por la reparación y sustitución de las estructuras como por la pérdida de su función. Como se ha comentado en este artículo, es de vital importancia reconocer esta problemática e implementar medidas para evitarla, además de motivar estudios que generen una mejor comprensión del tema y así mitigar daños.

Referencias

Anaya, M., Quintana, J., Carrión, F., Martínez, L., Hernández, J., Gasca, H., Guzmán, G., Machorro, J. y Hernández, A. (2021). *Monitoreo y evaluación de la integridad estructural del puente Mezcala*. Instituto Mexicano del Transporte.

Ayres (2023). ¿Qué es la socavación de puentes? ¿Por qué debería importarte? https://www.ayresassociates.c om/bridge-scour-care/

Cruz, G., Gómez, M. C. y de León, D. (2021) Bridge hydrological hazard characterization for purposes of analysis by local scour. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, *26*, 61-87.

Cruz, J. G. (2022). *Metodología para el análisis por socavación de puentes* [Tesis de doctorado]. Universidad Autónoma Metropolitana.

Frías, R. (18 de abril de 2024). *Situación de los puentes en México* [Sesión de conferencia]. VII Seminario Internacional de Puentes, Nayarit, México. https://amictav.org/eventoviisip

Gómez, J. (2021). *Los proyectos de infraestructura carretera más importantes de 2021*. IDM Infraestructura y Desarrollo en México. www.revistainfraestructura.co m.mx

Gómez, R., Flores, D. y Primero, J. D. (2017) *Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de huracanes. Actividad 8.2. Propuesta de medidas de mitigación*. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. https://www1.cenapred.unam.mx/SUBCUENTA/23a%20SESI%C3%93N%20ORDINARIA/PUNTO_Proyecto_Puentes/Actividades%208.1,%208.2%20y%208.3/02%20Propuesta%20de%20mitigaci%C3%B3n/Propuestas%20de%20mitigaci%C3%B3n.pdf

IDVIA Ingeniería. (2020). *La socavación y su relación con el colapso de los puentes*. https://www.idvia.es/lasocavacion-y-su-relacion-conel-colapso-de-los-puentes

Melville, B. W. y Coleman, S. E. (2000). *Bridge scour*. Water Resources Publications.

Rosio, S., Aguado, A. y Hernández, F. (2013). *Daños por socavación por los huracanes Ingrid y Manuel*. ERN. ern.com.mx/boletines/InformesDaos/130925-H.pdf

United States Departament of Transportation (2012). *Evaluating Scour at Bridges* (5.ª ed.). Federal Highway Adminsitration. https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif12003.pdf

AZCATL
Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

De la física a los movimientos sociales

Roberto Rivera Pérez
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
Escuela Militar de Ingeniería «Mcal. Antonio José de Sucre», Bolivia
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México
rrp@azc.uam.mx

Resumen

La capacidad reflexiva y de representación que tiene el ser humano, le ha permitido construir modelos teóricos en diferentes áreas disciplinares. Lo que lleva a preguntar: ¿qué analogía se podría establecer entre la física de fluidos, las multitudes y los movimientos sociales?, ¿qué vínculo podría tener la física de ondas con la memoria y las acciones colectiva en contextos del reclamo social?, ¿qué relación se podría establecer entre la física de partículas con los movimientos sociales? Premisas que no están planteadas explícitamente, pero que sí se trabajan y exponen en este documento.

Palabras clave

Movimientos sociales, modelos e interdisciplina.

Abstract

The reflective and representational capacity that human beings have has allowed them to build theoretical models in different disciplinary areas. Which allows us to ask: What analogy could be established between fluid physics, crowds and social movements? What link could wave physics have with memory and collective actions in contexts of social protest? What relationship could be established between particle physics and social movements? Premises that are not explicitly stated, but are worked on and presented in this document.

Keywords

Social movements, models, interdiscipline.

APA: Rivera, R. (2025). De la física a los movimientos sociales. *Azcatl, 4,* 26-31. DOI: 10.24275/AZC2025A005

A manera de introducción

Entre finales del siglo XVIII y la primera mitad del siglo XIX, Comte (2004), quien estuvo inspirado por los aportes de Aristóteles, Laplace, Saint-Simon, John Stuart Mill, Newton y Descartes, redactó su ensayo *Curso de filosofía positiva*, donde refirió por primera vez sobre la disciplina de la física social, la cual recuperaría algunos de los métodos, las herramientas, los postulados, las teorías, los teoremas matemáticos e ideas de diferentes disciplinas (como la astronomía, física, química y fisiología), a fin de tratar de formular una propuesta teórica y demás leyes en los campos de los fenómenos sociales, es decir, crear una ciencia para la sociedad; sugiriendo que todas las ciencias parten de un origen común y que las diferentes disciplinas científicas simplemente son ramificaciones del primero. Éste es el principio del paradigma positivista (también llamado simplificador), el cual tendría por centro la búsqueda de la verdad a partir de la demostración, la explicación y la repetición de los fenómenos; donde el grado de cientificidad de las disciplinas dependerá del nivel de cuantificación de sus resultados, la exaltación de la postura objetiva como un medio para la supresión de la subjetividad del investigador(a), seguido por el empleo de distintos métodos y técnicas para la investigación científica, así como la formulación de teorías y leyes universales predominantemente deterministas (siempre subordinadas a la relación causa-efecto-consecuencia) y disyuntivas, es decir, que fraccionen todos los fenómenos de la realidad con la intención de hacerlos cada vez más manipulables. Todo lo anterior, supeditado centralmente a los aportes metodológicos de Newton (vinculado al determinismo, con el objeto de establecer afirmaciones universales o leyes), de Descartes (deductivo, que va de lo general a lo particular) y de Bacon (inductivo, que parte de lo particular a lo general), para así erradicar los discursos retóricos provenientes de la teología y la metafísica, que provocaron un retraso en el desarrollo de las ciencias durante la Edad Media (siglo V al XV), lo que incluyó al periodo del Oscurantismo y sus efectos hasta el siglo XVIII.

Posteriormente, sería el mismo Comte quien le cambiaría el nombre de física social por sociología, como actualmente se le conoce en varias universidades y colegios en el ámbito mundial.

Como parte del recuerdo de esa tradición reflexiva, el presente ensayo tendrá por objetivo: presentar algunos ejemplos de modelos provenientes de la física mecánica que oportunamente se han incorporado en el debate de la corriente sociológica de los movimientos sociales, con el propósito de que este artículo de divulgación sea una invitación al desarrollo de nuevas investigaciones, exploraciones y propuestas.

Necesaria distinción de conceptos sobre la acción colectiva

Las teorías sociológicas, antropológicas y de ciencias políticas desde sus orígenes podrían haber acogido la metodología interdisciplinaria. No obstante, una fuerte tradición positivista fue la que terminó separando los temas de investigación entre ellas, además de fomentar la formación de gremios académicos e investigativos cada vez más especializados, con el objeto de distinguirse temática, teórica y metodológicamente del resto de las disciplinas.

Y si por casualidad alguna de éstas u otras ciencias, oportunamente acogieran la metodología interdisciplinaria, el nuevo contexto le podría sugerir la necesidad por establecer un lenguaje teórico común e instaurar vínculos e intercambios entre disciplinas, sin negar la postura de la herencia del positivismo, pero sí abriendo nuevas ventanas para el análisis de los fenómenos, como lo sugiere García (2013) y Rivera (2021b).

En ese sentido, la metodología interdisciplinaria le permite a las ciencias sociales trabajar directamente con las categorías de los sistemas, los modelos (o *tipos ideales*, en términos de Weber [2013]) y las estructuras, los cuales también forman parte de los discursos en el seno de la física, la química y la biología, como lo sugirió Bertalanffy (2014), Lévi-Strauss (1972 y 2017), Rivera (2021a) y Wallerstein (2005).

Particularmente, analizar el fenómeno sociológico de los movimientos sociales requiere hacer la distinción entre los conceptos de movimientos coordinados, multitudes y masas sociales. Los *movimientos coordinados*

son una serie de meneos corporales que realiza un individuo concreto en semejanza a otros individuos que se encuentran cerca del primero, fenómeno que es visible en los bancos de peces, las parvadas de aves y las situaciones de riesgo-peligro entre los seres humanos, donde la capacidad reflexiva y de raciocinio se subordina potencialmente a las acciones de una minúscula minoría (dos o tres participantes) que en cualquier instante se puede volver una mayoría. Las *multitudes* aluden a un grupo de individuos que por razones meramente fortuitas coinciden en un mismo lugar y tiempo, con la particularidad de que no hay una situación que les vincule (sea ideológica, religiosa, política u otra) o les sugiera realizar acciones solidarias con sus semejantes que trasciendan más allá de sus meros intereses personales siempre vinculados a la relación costo-beneficio.

Asimismo, el espacio para la interacción temporal generalmente se considera como un sitio de tránsito y, por lo regular, sus acciones no son ilegales y violentas, por ejemplo, asistir a un concierto o esperar abordar un vagón en el metro o en el tren de la ciudad. Las *masas sociales* se caracterizan por la reunión de individuos en un espacio y tiempo determinado, pero con el detalle de que existen elementos (símbolos), ideas, sentimientos e instituciones que les une y solidariza, por lo menos con una parte de los miembros y demás participantes. Generalmente realizan acciones ilegales y violentas guiadas por sentimientos más que por la razón, como podría ser un linchamiento.

Finalmente, los movimientos sociales se podrían caracterizar como formas de organización para la acción y la protesta social que surge en respuesta a la violación de algún derecho (social, laboral, etcétera), a la percepción de vulnerabilidad social (incremento desmedido de impuestos, falta de seguridad pública, el racismo, entre otros) o a la negación del acceso y la distribución de algún recurso energético escaso (comida, espacio para la vivienda, educación, servicios de salud, etcétera). Se caracterizan por realizar acciones legales e ilegales con tal de llamar la atención de una o varias de las instituciones del Estado con el objetivo de llegar a un punto de negociación, seguido por la reparación de daños y un incierto desenlace en la forma en que se disolverá el movimiento.

Cabe enfatizar que el movimiento requiere de un colectivo social que se cohesiona a partir de *un sentimiento e idea común* (sea correcta o incorrecta) sobre la vulnerabilidad, el abuso, la violación o el riesgo de un cambio profundo en su situación social (sea en el ámbito económico, político, religioso, laboral, educativo —o la suma de las anteriores— que atente a su forma de vida), aparte de los intereses individuales que tenga cada uno de sus participantes. Lo que los motiva a realizar movilizaciones, marchas, mítines, plantones en el espacio público y diferentes actos de protesta (pintas, bloqueos, paros, representaciones, entre otros). Estos actos y las marchas son algunas de las expresiones más visibles de los movimientos sociales, pero no todo acto de protesta es sinónimo de un movimiento social.

Recuperación de modelos desde la física de fluidos y de partículas

Almeida (2020) recuperó de Tarrow (2011) el concepto de *olas de protesta* para hablar sobre aquellas formas coordinadas de organización social para la protesta colectiva que se movilizan en diferentes epicentros o espacios, a fin de generar una desestabilidad social y situaciones caóticas en diferentes partes de las mismas ciudades y del país. El modelo que le puede representar son las olas que tienen flujos laminares y regulares al arribar a la orilla de una playa; pero también aquellos movimientos turbulentos que nacen en un epicentro concéntrico como resultado de haber arrojado una piedra en una superficie supuestamente quieta de agua, como un lago.

Otras analogías que se pueden establecer con la *física* de fluidos son los movimientos coordinados que son resultado de situaciones de riesgo-peligro o simplemente trasladarse de una estación de metro a otra, pudiendo asemejar a los flujos turbulentos y laminares (análogos a lo que ocurre al interior de las tuberías de agua y gas domésticas), respectivamente.

Y como dejar de recordar los círculos concéntricos y centrípetos que forman las multitudes que a su vez rea-

lizan movimientos coordinados durante su participación en los bailes del *slam* en los conciertos de rock. Mismos que se pueden representar con los fluidos turbulentos de los ciclones y tornados.

Por otra parte, Luhmann (1992), a partir de una reflexión interdisciplinaria, introdujo la noción de *la resonancia* para hablar sobre la propagación y difusión de la información relacionada con los movimientos para la protesta social y los medios masivos de comunicación. En este caso, la analogía que se puede sugerir –más Luhmann nunca la expresó- es el escuchar los mensajes transmitidos por la radio doméstica o el sonar de una campana de algún templo religioso a la distancia.

Sin embargo, Luhmann no le prestó tanta atención a la noción de la resonancia a diferencia de Tamayo (2016 y 2022), quien a partir del *principio de la dualidad de onda-corpuscular*, que caracteriza el movimiento de la luz y que es propio de la física cuántica, realizó una analogía interdisciplinaria entre la transmisión y la difusión no sólo de los discursos, sino de la recuperación y la apropiación de sucesos históricos específicos (o hechos congelados), que impactan directamente en la formación de las conciencias críticas y del tipo de activismo que podrían realizar las generaciones subsecuentes, quienes serían los nuevos manifestantes que integrarían los movimientos sociales, cuyos reclamos se realizarían décadas después del hecho congelado, no sólo impugnando el suceso histórico por el que los reclamantes se sienten afectados (aunque no lo hayan vivido o sufrido directamente), sino que también expresan bifurcaciones en la forma de hacer cultura política. Fenómeno llamado *resonancia histórica*.

A partir del fenómeno de la física llamado *criticalidad autoorganizada*, el cual es propio de las avalanchas de nieve, de arena y de escombros, mismas que se pueden visualizar al girar el reloj de arena de algunos juegos de mesa, fue que Rivera (2022) analizó interdisciplinariamente algunas de las estrategias de las que se vale el Estado para mantener el orden social frente a la incierta carestía de recursos energéticos. En caso de que dichas estrategias (o catalizadores) no sean totalmente efectivas, esta situación podría provocar la emergencia de nuevos conflictos, otras formas de organización social y de acciones colectivas que deforman en movimientos sociales de escalada y olas de protesta que ahora no sólo disputan el acceso y control de los recursos escasos, sino que podrían volverse organizaciones revolucionarias e independentistas que ahora desean el poder y la administración política como posibilidades de procesos de autoorganización irreversible del sistema político-económico.

Finalmente, este ensayo también sugiere que el movimiento de tránsito que realizan los contingentes que integran las marchas públicas, perfectamente pueden ser asociados a los tres elementos que integran a los vectores, al considerar que la *magnitud* (el número de miembros y participantes, sin contar simpatizantes), la *dirección* (el flujo laminar que les permite establecer la elección de las calles y avenidas para su tránsito y ocupación) y el *sentido* (análogo a la corriente ideológica y/o causa de lucha que les convoca a la unidad) están siempre presentes en esas formas de expresión colectiva y de protesta, ya que al omitir la analogía entre los elementos de la magnitud y el sentido, el movimiento social simplemente tendería a desaparecer.

Conclusión

La capacidad reflexiva propia de la *cogitación* de Descartes (1996) invita a que el ser humano trate siempre de hacer representaciones (modelos o tipos ideales) de la realidad que forma parte de su contexto, nunca olvidando tres condiciones:

Primera, que el modelo es una representación de una minúscula parte de la realidad, con el fin de poder manipularlo y con ello poder observar, considerar y trabajar con otras ideas que probablemente no hubieran emergido si es que el modelo estuviera ausente. Sin olvidar que la intromisión y manipulación que realiza el investigador(a) también afecta al fenómeno que se está indagando.

Segunda, que a partir de breves adecuaciones que se pueden realizar al modelo original, así como la recuperación parcial de las ideas que le dieron origen, el modelo se puede extender a otras disciplinas, siempre y cuando se acoja adecuadamente la metodología interdisciplinaria,

pues esto podría ayudar a explicar y exponer otros fenómenos para los que originalmente no fue pensada, como los casos de los fluidos laminares y turbulentos, los vectores y las extrapolaciones desde la física de onda-partícula y de partículas que se expusieron anteriormente.

Tercera, esta última condición sugiere cuestionar la tradición de la postura de la objetividad en la indagación, la cual siempre busca suprimir la presencia de los sujetos investigadores(as) en el análisis de los fenómenos, sin importar el área disciplinar a la que se pertenezca. Ahora se debe considerar que las y los científicos siempre se ven influenciados por sus intereses, deseos, pasiones, creencias y elecciones de carácter personal; mismos que les invita a indagar uno u otro tema, elegir a uno u otro autor(a), colaborar con uno u otros científicos(as), inferir una posibilidad u otras. Sin embargo, estos detalles, por el simple hecho de reconocerlos, no desacreditan o invalidan sus resultados, los aportes paradigmáticos y demás avances científicos que se expongan; entre los que se pueden incluir la recuperación de los modelos, los sistemas y las estructuras, así como las nuevas inferencias teóricas que se realizan desde la óptica de la metodología interdisciplinaria.

Situación que también se traduce en un doble mensaje, pues por una parte invita a los estudiosos(as) de las ciencias sociales, en general, a seguir buscando puntos de convergencia no sólo con la física, sino también con la química y otras áreas disciplinares ajenas a nuestras áreas de formación; pero, asimismo, debe fomentar la intencionalidad por estudiar, analizar, tratar de comprender y discutir con las y los colegas de las ciencias básicas mediante ejercicios reflexivos interdisciplinarios desde la óptica de las ciencias sociales y viceversa. Como se realizó en este ensayo, en el cual, de no ser por las exposiciones de Clemente de la Torre (2011), Halliday y Resnick (1992), Loerna et al. (2018), Peralta (2016), Rubio et al. (2021) y las observaciones que realizó Tamayo (2016 y 2022) al presente manuscrito, no hubiera sido posible entrar en *los talleres mentales* de las y los autores que fueron incluidos en este artículo.

Referencias

Almeida, P. (2020). *Movimientos sociales: la estructura de la acción colectiva*. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.

Bertalanffy, L. V. (2014). *Teoría de los sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica.

Clemente de la Torre, A. (2011). *Física cuántica para filo-sofos*. Fondo de Cultura Económica.

Comte, A. (2004). *Curso de filosofía positiva*. Ediciones Libertador.

Descartes, R. (1996). *Discurso del método*. Porrúa.

García, R. (2013). *Sistemas complejos: concepto, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Gedisa Editorial.

Halliday, D. y Resnick, R. (1992). *Física. Parte 1*. Compañía Editorial Continental.

Lévi-Strauss, C. (1972). *El pensamiento salvaje*. Fondo de Cultura Económica

Lévi-Strauss, C. (2017). *Tristes Trópicos*. Paidós

Loera, S., Lozano, M. L., Cid, A., García, I. y Valencia, D. G. (2018). *Fundamentos de Química: desde una perspectiva de átomos, moléculas hasta reacciones químicas*. Universidad Autónoma Metropolitana.

Luhmann, N. (1992). *Sociología del riesgo*. Universidad Iberoamericana.

Peralta, R. (2016). *Fluidos*. Fondo de Cultura Económica.

Rivera, R. (2021a). Modelos lineales y no-lineales para la investigación en las ciencias sociales. En J. A. Andrade (Ed.). *Investigación en ciencias sociales y transdisciplinariedad*. Universidad de San Buenaventura.

Rivera, R. (2021b). Una apuesta más para el reencuentro disciplinar: diálogos epistémicos comunes. En M. V., Nava, A. Medina y E. Bocciolesi (Coords). *Enfoques y construcciones de la investigación educativa en estudios de posgrado*. Castellanos Editores.

Rivera, R. (2022). Modelo catalizador no-lineal sobre los conflictos sociales de escalada. *Digital Publisher*, 2(2).

Rubio, A., García, L. M., Bastién, G. M., Hernández, M. G., Martínez, A. y del Valle, L. G. (2021). *Introducción a la física*. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

Tamayo, S. (2022). *La revolución de las conciencias: resonancias históricas, cultura del disenso y disputa del poder*. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

Tamayo, S. (2016). *Espacios y repertorios de la protesta*. Universidad Autónoma Metropolitana. Red Mexicana de Estudios de los Movimientos Sociales.

Wallerstein, I. (2005). *Las incertidumbres del saber*. Gedisa Editorial.

Weber, M. (2013). *Sobre la teoría de las ciencias sociales*. Ediciones Coyoacán.

AZCATL
Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

Ciberseguridad mediante inteligencia artificial

Luis Alberto Flores Montaño
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma
luisfloresmontano@hotmail.com

Jacobo Sandoval Gutiérrez
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma
j.sandoval@correo.ler.uam.mx

Resumen

Esta investigación implementa un modelo de inteligencia artificial (IA) para proteger un sistema embebido, representado por un robot móvil con una Raspberry Pi, frente a ciberataques. La metodología incluye el diseño del sistema, el desarrollo de un entorno de prueba de ciberataques y la integración de un modelo ligero de IA entrenado para detectar y mitigar amenazas. Los experimentos evalúan la eficacia del sistema en la detección de ataques, el tiempo de respuesta y el impacto en el rendimiento del *hardware* de recursos limitados. El enfoque se valida para su uso en otros dispositivos embebidos (internet de las cosas [IoT]), asegurando su viabilidad en aplicaciones críticas.

Palabras clave

Ciberseguridad, IA, sistemas embebidos.

Abstract

This research implements an artificial intelligence (AI) model to protect an embedded system, represented by a mobile robot with a Raspberry Pi, against cyberattacks. The methodology includes system design, the development of a cyberattack test environment, and the integration of a lightweight AI model trained to detect and mitigate threats. The experiments evaluate the system's effectiveness in detecting attacks, response time, and impact on the performance of resource-constrained hardware. The approach is validated for use in other embedded (IoT) devices, ensuring its viability in critical applications.

Keywords

Cybersecurity, AI, embedded systems.

APA: Flores, L. y Sandoval, J. (2025). Ciberseguridad mediante inteligencia artificial. *Azcatl, 4,* 32-37. DOI: 10.24275/AZC2025A006

Introducción

La ciberseguridad es fundamental para un mundo interconectado en donde las amenazas son más complejas (Guembe *et al.,* 2022). Es por ello que la inteligencia artificial (IA) emerge como una herramienta prometedora para realizar la detección, respuesta y prevención ante ataques en tiempo real. El presente estudio se enfoca en aplicar la IA a sistemas embebidos, presentes hoy día en diversos dispositivos, como automóviles, aparatos del hogar e incluso en equipos médicos, los cuales enfrentan limitaciones de procesamiento y de energía, por lo que son vulnerables a los ciberataques. La IA permite proteger estos dispositivos de manera eficiente, incluso con *hardware* de bajo costo, garantizando su funcionamiento seguro en redes complejas (Álvarez, 2024; Ayerbe, 2020).

En el ámbito de los sistemas embebidos, varios estudios han demostrado el uso de la IA para mejorar la ciberseguridad (Hladun, 2024; Zhang y Li, 2023). Sin embargo, muchos de estos enfoques se centran en *hardware* de alto rendimiento y rara vez se aplican en dispositivos con restricciones de procesamiento y memoria. En el caso de los sistemas autónomos y los robots móviles con sistemas embebidos, la necesidad de soluciones ligeras y adaptativas es crítica. Mientras que las investigaciones previas han explorado técnicas de IA para la navegación autónoma y el control (Kaur *et al.,* 2023), la integración de la IA para la protección contra ciberataques en estos sistemas aún es un área en desarrollo (Li, 2018).

La investigación expuesta en este artículo utiliza el Freenove-Kit de coche inteligente 4WD con Raspberry Pi —un sistema embebido— para implementar un modelo ligero de inteligencia artificial (IA), el cual es una versión optimizada y reducida de un modelo diseñado para funcionar en dispositivos de recursos limitados basado en técnicas de TinyML y modelos de aprendizaje automático que protejen el vehículo contra ciberataques, como inyección de código o ataques de denegación de servicio (DoS). Este vehículo robótico, equipado con sensores y módulos de control, permite experimentar en entornos de simulación representativo de sistemas autónomos. Además, demuestra la viabilidad de aplicar IA para identificar y mitigar ciberataques en tiempo real, incluso en *hardware* con recursos limitados. Por lo que el modelo propuesto podría adaptarse a otros dispositivos IoT y sistemas embebidos, fortaleciendo la ciberseguridad en aplicaciones críticas.

Metodología

La metodología se desarrolla en cinco etapas clave: diseño del sistema, desarrollo del entorno de prueba, implementación de la IA, experimentación con ciberataques y evaluación del rendimiento del sistema. Con lo anterior, se busca cubrir un *framework* de ciberseguridad enfocado en el marco NIST SP 800-53, que abarca las funciones de identificar, proteger, detectar, responder y recuperar (Dempsey, 2014). En la Figura 1 se muestra gráficamente el proceso de la metodología aplicada.

1. Diseño del sistema embebido y arquitectura de seguridad

En esta etapa se consideran componentes físicos como el Freenove-Kit de coche inteligente 4WD (Figura 2), el cual proporciona la plataforma física móvil con sensores integrados (ultrasónicos, infrarrojos, giroscopios, etcétera) que simulan las funcionalidades de los vehículos autónomos; una Raspberry Pi que actúa como el núcleo de procesamiento, controlando los sensores y actuadores del vehículo, teniendo en cuenta que es el dispositivo donde se ejecutará el modelo de IA; asimismo, se tiene una conexión de red bajo una comunicación inalámbrica (wifi), esto con el propósito de simular los ciberataques y para monitorear el sistema.

Para los componentes del *software* se tiene un sistema operativo Raspbian OS (Linux) que se utiliza en la Raspberry Pi, un modelo de IA ligero como es el aprendizaje automático, entrenado para la detección de patrones anómalos, es decir, creación de procesos desconocidos, aumento repentino de procesos, saturación de CPU o RAM e incremento inusual del tráfico de red, todos éstos consecuencia de los ciberataques.

2. Desarrollo del entorno de prueba

Esta fase consiste en la creación de un entorno simulado para realizar los experimentos, así como los cibera-

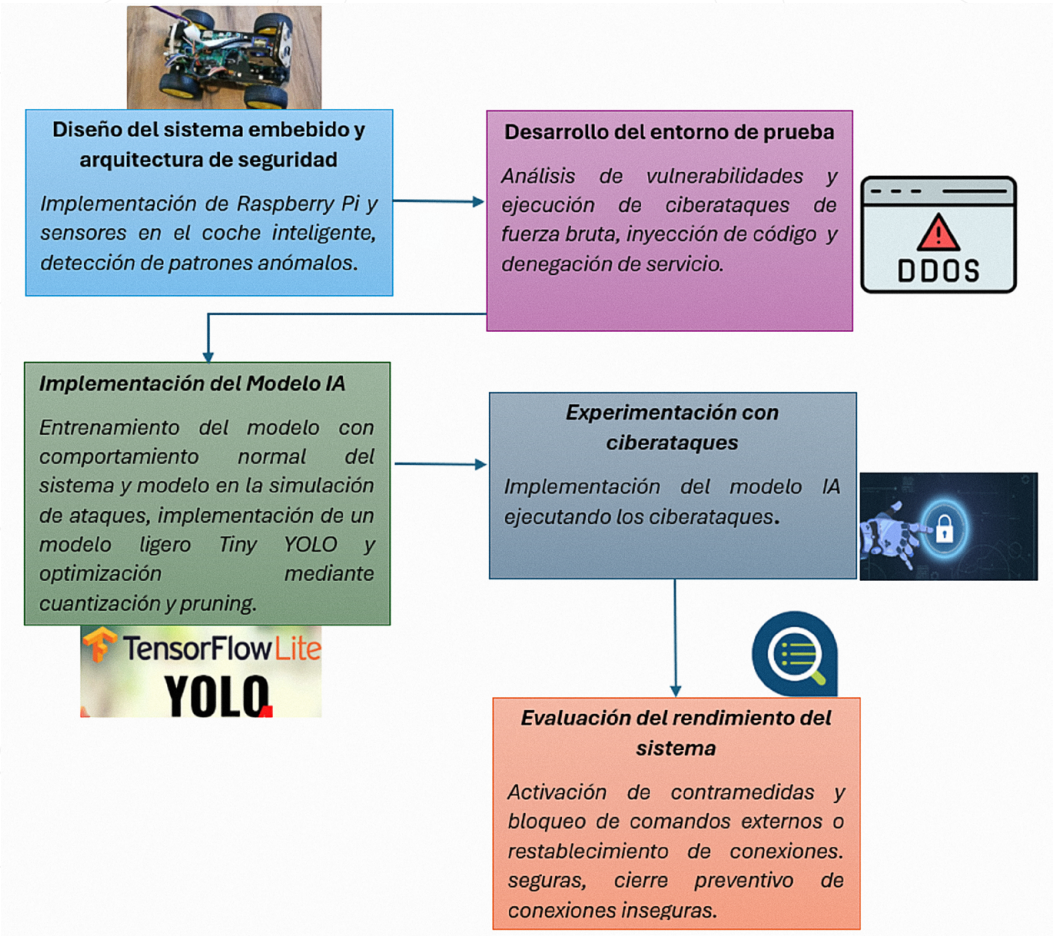

Figura 1. Diagrama de la metodología.

taques al coche inteligente; por lo que se programan rutas predefinidas, se configuran los sensores y se establece una comunicación con un servidor remoto para simular actualizaciones y comandos.

Los ciberataques controlados incluyen un escaneo de puertos con Nmap para identificar los dispositivos que están conectados, seguido de un análisis de vulnerabilidades realizado con Nessus (Colque, 2020). Una vez que se tienen estas vulnerabilidades, se ejecutan ataques de fuerza bruta utilizando el diccionario Rockyou (Chaudhary y Kumar, 2024), de inyección de código con Metasploit (Raj y Walia, 2020) y de denegación de servicio (DoS) usando Hping3 (Ahda *et al.*, 2023). Estas técnicas buscan infiltrarse en el sistema, saturar la red y afectar la capacidad de respuesta del vehículo.

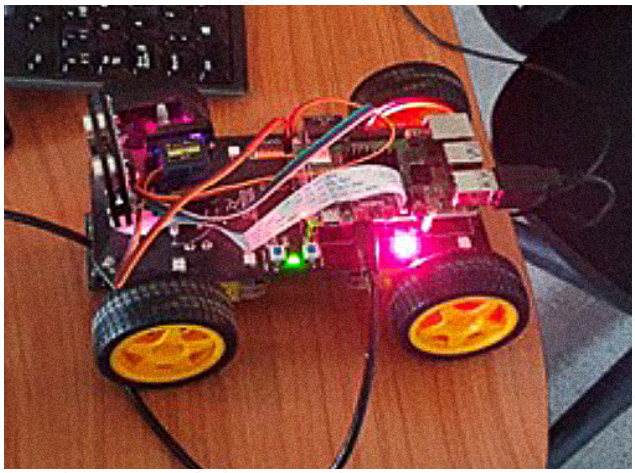

Figura 2. Freenove-Kit de coche inteligente 4WD con sensores.

3. Implementación del modelo IA

En esta etapa se selecciona e implementa un modelo de IA ligero que pueda operar de manera eficiente en la Raspberry Pi con recursos limitados. El modelo se entrena para detectar patrones de comportamiento anómalos en los datos de los sensores y la red; para ello, primero se recopilan datos sobre el comportamiento normal del sistema (navegación sin interferencias) y luego se realizan simulaciones de ciberataques.

El proceso de entrenamiento para implementar un modelo de IA en una Raspberry Pi 4 comienza con la selección de un modelo ligero, como es el caso de Tiny YOLO (Ma *et al.,* 2018), el cual es adecuado para sistemas de bajo procesamiento. Dicho modelo se entrena inicialmente en una máquina con mayor capacidad computacional para utilizar un conjunto de datos relevante para la tarea específica. Una vez completado el entrenamiento, el modelo se optimiza mediante una cuantización y un *pruning* para reducir su tamaño y consumo de recursos, luego se convierte a un formato compatible en TensorFlow Lite (David *et al.,* 2021; Demosthenous y Vassiliades, 2021). Finalmente, el modelo optimizado se implementa en la Raspberry Pi 4 para realizar inferencia en tiempo real, aprovechando —si es posible— el hardware acelerado para mejorar su rendimiento.

4. Experimentación con ciberataques

Una vez implementado el modelo de IA, se llevan a cabo experimentos en condiciones controladas para evaluar su capacidad de detección y respuesta frente a diferentes tipos de ciberataques.

Primero se realiza una prueba de inyección de código, la cual intenta manipular el comportamiento del coche mediante la inyección de comandos maliciosos. El objetivo del modelo de IA es que identifique estos comandos y bloquee su ejecución. Adicionalmente, se realiza una prueba de denegación de servicio (DoS), la cual inunda la red del vehículo con solicitudes falsas, simulando un ataque DoS. El sistema debe detectar la sobrecarga y mantener la estabilidad de las operaciones esenciales; adicionalmente, el sistema responde en tiempo real generando alertas y registros.

5. Evaluación del rendimiento del sistema

En esta última fase, se realiza una validación para el modelo utilizando un conjunto de datos que incluye tanto comportamiento normal como anómalo para ajustar su precisión. Posteriormente, el modelo se integra en el sistema embebido, en el *software* de control del coche inteligente, donde monitorea en tiempo real los datos de los sensores y la red.

El sistema está diseñado para detectar actividades sospechosas y activar contramedidas (por ejemplo, bloquear comandos externos o restablecer conexiones seguras). En el cierre preventivo de conexiones inseguras al detectar una anomalía, la IA activa una respuesta de contención que incluye el bloqueo inmediato de todas las conexiones entrantes o salientes que no sean críticas para el sistema; esto debe evitar la entrada de paquetes maliciosos o la propagación del ataque a otros sistemas embebidos en la red, es decir, si el sistema embebido se ve comprometido, la IA desconecta el dispositivo de la red principal para contener la amenaza, impidiendo que el ataque se propague a otros sistemas críticos.

Después se evalúa la eficacia del modelo de IA en términos de su capacidad de detección de ciberataques, respuesta y eficiencia operativa. Esto se realiza mediante métricas de evaluación, a través de las cuales se obtiene la precisión de detección por tasa de verdaderos positivos y negativos frente a falsos positivos y negativos. Por otro lado, se tiene la medición del tiempo de respuesta: cuánto tarda el sistema en detectar y mitigar un ataque. Asimismo, se obtiene el impacto en el rendimiento del sistema embebido, el cual mide el uso del CPU, memoria y energía para asegurar que el modelo de IA no sobrecargue el *hardware*. Por último, se mide la robustez, esto es la capacidad del sistema para seguir funcionando correctamente bajo ataques sostenidos. Todo esto consigue la obtención de datos para la capacidad de recuperación y para evaluar qué tan bien se recupera el sistema tras un ataque exitoso.

Resultados

La implementación del modelo de IA en la Raspberry Pi 4 para mejorar la ciberseguridad del coche inteligente

Freenove-Kit 4WD fue exitosa. El modelo, optimizado con TensorFlow Lite, mostró una capacidad destacada para detectar patrones anómalos en los datos de los sensores. Se llevaron a cabo pruebas con distintos tipos de ataques: escaneo de puertos, denegación de servicio, acceso no autorizado e inyección de código. El sistema respondió en tiempo real, generando alertas y registros. En la Tabla 1 se presentan los resultados respecto a cada ciberataque.

Durante las pruebas de ciberataques, el modelo identificó y bloqueó eficazmente inyecciones de código maliciosos y también mitigó los efectos de ataques DoS, manteniendo la estabilidad de los sensores y actuadores esenciales con sólo un 3 % de pérdida de datos. Se evaluó el rendimiento del sistema embebido ejecutando la IA en condiciones reales. Se midieron métricas, como consumo energético, latencia, precisión y robustez ante ruido en la red. En la Tabla 2 se muestran los datos de las métricas evaluadas.

En cuanto a la robustez, el sistema demostró una alta capacidad de recuperación, con tiempos promedio de restauración de 1.2 minutos después de ataques DoS exitosos. Adicionalmente, los mecanismos de contención, como el ajuste dinámico del *firewall* y el aislamiento del sistema comprometido, garantizaron la seguridad del sistema sin comprometer su funcionalidad.

Conclusiones

La implementación de un modelo de inteligencia artificial ligero en un sistema embebido basado en Raspberry Pi 4 ha demostrado ser efectiva para mejorar la ciberseguridad del coche inteligente Freeno-ve-Kit 4WD, dentro de un entorno de prueba controlado. Los resultados obtenidos muestran que la solución es capaz de detectar patrones anómalos en los datos de sensores y de red, respondiendo de manera rápida y eficaz ante ciberataques, como inyecciones de código malicioso y ataques de denegación de servicio (DoS).

El uso del modelo optimizado como lo es Tiny YOLO, adaptado para operar en un dispositivo con recursos limitados, permitió una detección precisa con un consumo de recursos adecuado, esto sin comprometer el rendimiento del sistema embebido. El modelo también fue eficaz para la implementación de contramedidas, como el bloqueo de conexiones inseguras y el aislamiento del sistema comprometido, lo que garantizó la seguridad continua del vehículo.

Tabla 1. Resultados ante cada ciberataque.

Tipo de ataque	Descripción	Precisión de detección (%)	Falsos positivos (%)	Tiempo de detección (ms)
Escaneo de puertos	Uso de Nmap para identificar servicios activos.	100.0	1.2	98
Ataque DoS	Saturación de red mediante múltiples peticiones.	92.3	4.1	132
Acceso no Autorizado	Intento de login remoto SSH con fuerza bruta.	96.5	2.6	115
Inyección de Comandos	Uso de comandos maliciosos en formularios.	94.8	3.3	121

Tabla 2. Métricas evaluadas.

Métrica evaluada	Sin IA	Con IA	Impacto (%)	Observación
Precisión de detección	NA	95.86 %	NA	Modelo entrenado con dataset etiquetado localmente.
Tiempo promedio de respuesta	15 ms	135 ms	+800 %	Aceptable en aplicaciones no críticas.
Consumo energético promedio	3.2 W	3.7 W	+15.6 %	Aumento moderado, viable para sistemas IoT.
Uso promedio de CPU	22 %	57 %	+159 %	CPU ARM Quad-core 1.5 GHz (Raspberry Pi 4).
Tasa de falsos positivos	NA	3.25 %	NA	Dentro de rango aceptable para sistemas de alerta.
Robustez ante tráfico ruidoso	Baja	Alta	-	La IA mantiene detección efectiva con ruido de red.

Los tiempos de recuperación fueron breves y la capacidad del sistema para mantenerse operativo durante los ciberataques sostenidos evidencia la robustez de la solución. Esto remarca el potencial para ser aplicado en entornos de sistemas embebidos más complejos, como en el caso de vehículos autónomos. Para futuras investigaciones, se espera mejorar la precisión del modelo en escenarios que sean más dinámicos y ampliar la capacidad de detección frente a amenazas completamente nuevas.

Referencias

Ahda, A., Wulandari, C., Husellvi, H. P., Alhuda, M. Y., Reda, M., Zahwa, P. y Ananda, S. (2023). Information security implementation of DDoS attack using hping3 tools. *Journal of Computer Science*, *1*(4).

Álvarez, A. F. (2024). *Estado del arte de técnicas de inteligencia artificial que aporten en la ciberseguridad* [Tesis de ingeniería]. Universidad Politécnica Salesiana.

Ayerbe, A. (2020). La ciberseguridad y su relación con la inteligencia artificial. *Real Instituto Elcano*, *128*.

Chaudhary, A. y Kumar, K. (24-28 de junio de 2024). *Vulnerability Analysis of WPA Security Protocols*. 15th International IEEE Conference on Computing Communication and Networking Technologies, Mandy, India.

Colque, S. I. J. (2020). Escáner de vulnerabilidades aplicando Nessus. *Revista Ciencia y Tecnología Informática*, *1*(1), 5-10.

David, R., Duke, J., Jain, A., Janapa Reddi, V., Jeffries, N., Li, J., ... Rhodes, R. (2021). Tensorflow lite micro: embedded machine learning for tinyml systems. *Proceedings of Machine Learning and Systems*, *3*, 800-811.

Demosthenous, G. y Vassiliades, V. (2021). *Continual learning on the edge with tensorflow lite*. Arxiv.

Dempsey, K. L., Witte, G. A. y Rike, D. (2014). *Summary of NIST sp 800-53, revision 4, security and privacy controls for federal information systems and organizations*. Computer Security Division-National Institute of Standards and Technology.

Guembe, B., Azeta, A., Misra, S., Osamor, V. C., Fernandez-Sanz, L. y Pospelova, V. (2022). The emerging threat of ai-driven cyber attacks: a review. *Applied Artificial Intelligence*, *36*(1).

Hladun, I. (2024). *Embedded AI systems: a guide to integrating ML in embedded systems*. Waverley. https://waverley*software*.com/blog/embedded-ai-systems-guide/

Kaur, R., Gabrijelčič, D. y Klobučar, T. (2023). Artificial intelligence for cybersecurity: literature review and future research directions. *International Journal on Information Fusion*, *97*. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.101804

Li, J. H. (2018). Cyber security meets artificial intelligence: a survey. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, *19*(12), 1462-1474.

Ma, J., Chen, L. y Gao, Z. (2018). Hardware implementation and optimization of Tiny-YOLO network. En G. Zhai, J. Zhou, H. Yang, P. An y X. Yang (Eds.), *Digital TV and wireless multimedia communication*. Springer.

Raj, S. y Walia, N. K. (2-4 de julio de 2020). A study on metasploit framework: a pen-testing tool. *2020 International Conference on Computational Performance Evaluation*, Shillong, India.

Zhang, Z. y Li, J. (2023). A review of artificial intelligence in embedded systems. *Micromachines*, *14*(5), p. 897. https://doi.org/10.3390/mi14050897

AZCATL
Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

Sentimientos en palabras: desentrañando las emociones de las personas adultas mayores

Angeles Belém Priego Sánchez
Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco
abps@azc.uam.mx

Alejandra Lizeth Cuesta Millán
Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco
al2172000227@azc.uam.mx

Rosa María Flores Martínez
Universidad Autónoma de Nuevo León
rosa.floresma@uanl.edu.mx

Resumen

El entendimiento de los sentimientos en el discurso humano es importante para la detección temprana de problemas de salud mental. En el caso de las personas adultas mayores, éstas encaran un conjunto de problemas relacionados con el transtorno mental, el bienestar emocional y la calidad de vida. La detección temprana de algún trastorno emocional, como puede ser la ansiedad o depresión, es fundamental para una intervención efectiva y el apoyo adecuado. En este artículo se presenta una metodología innovadora aplicada a un sistema que detecta, en tiempo real, emociones que expresan las personas adultas mayores con sus palabras ¡conozcámosla!

Palabras clave

Detección de emociones, personas adultas mayores y reconocimiento de voz.

Abstract

Understanding emotions in human speech is essential for the early detection of mental health issues. Older adults, in particular, face various challenges related to mental disorders, emotional well-being, and overall quality of life. Identifying emotional disorders such as anxiety and depression at an early stage is crucial for ensuring timely interventions and appropriate support. In this pursuit, an innovative system has been developed to detect, in real-time, the emotions expressed by older adults through their speech. Let's explore it!

Keywords

Emotion detection, older adults, speech recognition

APA: Priego, A., Cuesta, A. y Flores, R. (2025). Sentimientos en palabras: desentrañando las emociones de las personas adultas mayores. *Azcatl, 4,* 38-43. DOI: 10.24275/AZC2025A007

Introducción

En 2020, cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2024) mostraron que hay 47.7 personas adultas mayores por cada 100 niños y jóvenes; esto significa que las personas adultas mayores ocupan un porcentaje importante del total de la población del país. De este hecho se puede inferir la importancia de llevar a cabo estudios, en particular, en este sector poblacional. En este proyecto se busca estar lo más involucrado posible en las reacciones fisiológicas (sentimientos) de cada adulto mayor. Un sentimiento es un estado de ánimo que se genera por eventos que son impresionantes para la persona que los vive. Cuando los sentimientos son positivos es factible alcanzar la felicidad y obtener que la dinámica cerebral fluya con normalidad. En caso contrario, se puede experimentar un desequilibrio emocional que puede resultar en trastornos como la depresión. Algunas emociones positivas son la felicidad, la motivación, la satisfacción y el bienestar. Por otro lado, los ejemplos de emociones negativas son la tristeza, la frustración, el miedo y el enojo.

Ahora bien, dentro de la informática hay un campo de estudio llamado inteligencia artificial (IA), el cual está evolucionando a pasos agigantados. La IA se encarga de crear sistemas que realizan labores donde comúnmente se necesita de la inteligencia humana, como el razonamiento, el aprendizaje y la percepción. Una rama de la IA es el procesamiento del lenguaje natural (PLN), el cual se encarga de la interacción entre el lenguaje humano y las computadoras, cuyo objetivo es que las máquinas entiendan, interpreten y generen el lenguaje humano de forma normal.

Si bien, el PLN tiene varias líneas de aplicación, dos de éstas son necesarias para para poder realizar el presente proyecto. Una de ellas es el reconocimiento de voz y la otra es el análisis de sentimientos. Estas aplicaciones son las que se usan para poder identificar de forma automática y en tiempo real los sentimientos mediante la voz de las personas adultas mayores. El proceso para lograr el objetivo deseado es usar el audio que se obtenga de un discurso y éste se convierte a texto. Después se analiza el texto identificando el sentimiento predominante (alegría, tristeza o enojo) en el discurso. Por último, la salida de información que arroja el sistema es el sentimiento identificado en el audio.

La investigación se basa en la premisa de que los sentimientos juegan un papel importante en el bienestar emocional. Los sentimientos positivos, como la alegría y la gratitud, pueden mejorar la salud física y mental, mientras que los sentimientos negativos, como la tristeza o el miedo, pueden tener efectos adversos. En la vejez, estos sentimientos pueden ser más intensos y complejos.

El entendimiento de las emociones en el discurso humano es importante para la detección temprana de problemas de salud emocional. Es importante reconocer que las personas adultas mayores encaran un conjunto de problemas relacionados con la salud mental, el bienestar emocional y la calidad de vida. La detección precoz de algún trastorno emocional, como la ansiedad o depresión, es fundamental para una intervención efectiva y el apoyo adecuado. Además, el sistema puede ayudar en las consultas médicas, debido a que proporciona información adicional sobre el estado de ánimo del paciente, lo que será valioso para su atención médica.

Desentrañando las emociones

Los sentimientos de las personas adultas mayores son un aspecto fundamental de su bienestar general y su importancia no puede ser subestimada. En esta etapa de la vida, a menudo marcada por cambios significativos, como la jubilación, la pérdida de seres queridos o el declive de la salud física, estar al pendiente de estas situaciones es esencial no sólo para garantizar su salud emocional, sino también para preservar su dignidad, fomentar relaciones significativas y promover una mejor calidad de vida.

La salud mental de los adultos mayores está intrínsecamente ligada a su bienestar físico; diversos estudios han demostrado que la soledad, el aislamiento social y la depresión en la vejez están asociados con un aumento en la incidencia de enfermedades crónicas, deterioro cognitivo e incluso una mayor mortalidad. Al prestar atención a sus emociones es posible prevenir o mitigar estos problemas, ya que el apoyo y la compañía pueden actuar como factores protectores contra el deterioro de su salud. Por

tanto, el cuidado de su bienestar emocional es tan vital como el cuidado de su salud física.

Con frecuencia, esta etapa de la vida se asocia con la pérdida de autonomía, lo que puede llevar a los mayores a sentir que ya no son útiles o que se han convertido en una carga para los demás. Sin embargo, cuando sus sentimientos son respetados y considerados se les empodera, ayudándoles a mantener un sentido de identidad y autoestima. Este reconocimiento es crucial para que se sientan valorados y respetados, lo que a su vez refuerza su satisfacción personal y su percepción de ser miembros activos y significativos de la sociedad.

Este aislamiento puede llevar a la soledad y la depresión, con consecuencias negativas para su salud y bienestar. Estar al pendiente de sus emociones y ofrecerles compañía, escuchar sus inquietudes y participar activamente en su vida diaria puede reducir significativamente el riesgo de padecer una enfermedad. La interacción social y el apoyo emocional no sólo mejoran su estado de ánimo, sino que también les proporcionan un sentido de pertenencia y propósito, aspectos fundamentales para su felicidad. Ya sea en temas de salud, finanzas o decisiones personales, es crucial considerar cómo se sienten para garantizar que las decisiones se tomen con su consentimiento y su mayor interés. Esto no sólo protege su autonomía, sino que también asegura que las decisiones reflejen sus deseos y necesidades reales (Quinayás, 2021).

Una forma de abordar esta problemática es a través de la implementación de una metodología integral de apoyo emocional y social para adultos mayores, la cual podría incluir servicios de acompañamiento regular, plataformas de comunicación que fomenten la interacción social y programas de bienestar mental que se adapten a las necesidades emocionales de cada individuo. Al integrar tecnología con atención personalizada se podría proporcionar un seguimiento constante de su estado emocional y físico, facilitando la identificación temprana de problemas de salud mental o de soledad. La metodología propuesta, aplicada a un sistema para la detección automática de emociones en personas adultas mayores (que puede verse en la Figura 1), se compone de diversas etapas en las que la investigación, en el campo de estudio del PLN, integrada con la tecnología, se enfocan en problemáticas sociales de inclusión y bienestar emocional.

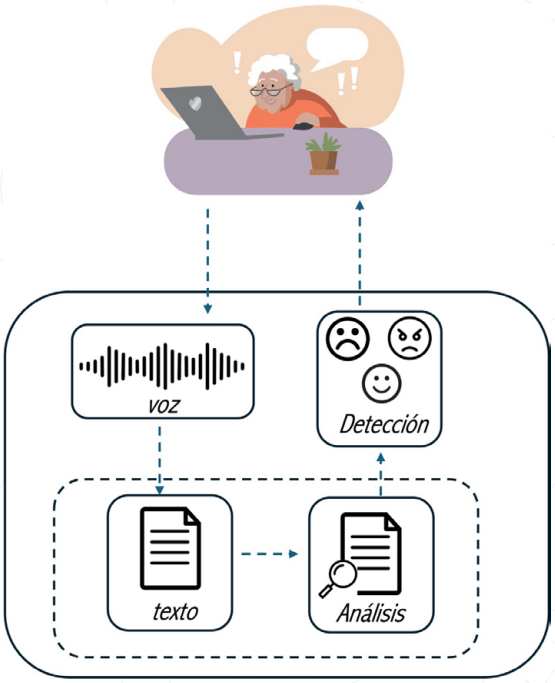

Figura 1. Metodología para la identificación automática de sentimientos en el discurso.

El proceso comienza con la captación del audio de las palabras (discurso) de la persona adulta mayor, que luego se convierte en texto utilizando tecnología de reconocimiento de voz. Una vez obtenido el texto se procede a un análisis profundo de su contenido, tanto semántico como emocional, mediante instrucciones especializadas para identificar el sentimiento predominante que se expresa en el discurso, como alegría, tristeza, enojo u otros. Este análisis detallado se basa en patrones lingüísticos, contexto emocional de las palabras y frases. En el caso del análisis semántico, se determina el significado de las palabras, frases y oraciones en el texto, así como las relaciones entre ellas. En general, se busca entender el contenido y la estructura del texto. Por su parte, el análisis emocional se centra en identificar las emociones que el texto transmite, es decir, distinguir las emociones que una persona adulta mayor podría estar tratando de

Tabla 1. Características de la alegría, la tristeza y el enojo.

Emoción	Causas comunes	Expresiones	Efectos de salud	Estrategias de manejo
Alegría	Logros personales, relaciones positivas, experiencias agradables, etcétera.	Sonrisa, risa, actitud positiva y energía.	Mejora del sistema inmunológico, reducción del estrés y aumento de la longevidad.	Disfrutar el momento, compartir con otros y practicar la gratitud.
Tristeza	Pérdida de seres queridos, decepciones, fracasos, entre otras.	Llorar, falta de energía y retraimiento social.	Aumento del riesgo de depresión y debilitamiento del sistema inmunológico.	Expresar sentimientos, buscar apoyo social y realizar actividades que generan bienestar.
Enojo	Injusticias, frustraciones, conflictos, etcétera.	Voz elevada, tensiones corporales y gestos agresivos.	Incremento del riesgo de hipertensión y porblemas cardíacos.	Practicar la respiración profunda, tomar distancia de la situación y expresar el enojo de forma constructiva.

expresar. Esto generalmente se realiza con modelos de análisis de sentimientos (Priego *et al.,* 2021). Finalmente, la metodología genera una salida de información que indica el sentimiento detectado en el audio original, proporcionando una evaluación precisa de las emociones expresadas en el discurso.

Existen diferentes tipos de sentimientos que pueden ser agrupados en categorías generales, los cuales son: 1) sentimientos positivos que incluyen amor, alegría, gratitud, esperanza y satisfacción; 2) sentimientos negativos que involucran tristeza, ira, miedo, frustración y envidia, y 3) sentimientos neutros o mixtos como la nostalgia, sorpresa o ambivalencia. Cada tipo de sentimiento cumple una función en la vida, facilitando la adaptación a las circunstancias, el aprendizaje a partir de las experiencias y la conexión con otras personas. En esta investigación, los sentimientos que se han identificado son la alegría, la tristeza y el enojo; no obstante, es muy importante mencionar que la metodología presentada es extensible a identificar cualquier sentimiento. En la Tabla 1 se ofrece una explicación de cada uno de los sentimientos vinculados a las pruebas realizadas en la metodología.

La manera en que se expresan los sentimientos varía considerablemente. Algunas personas son más abiertas y expresivas, mientras que otras tienden a ser más reservadas. La expresión adecuada de los sentimientos es fundamental para mantener relaciones saludables y preservar la salud emocional, ya que reprimirlos puede derivar en problemas de salud mental, como ansiedad o depresión.

Resultados

Este proyecto destaca la importancia de los sentimientos en el bienestar emocional de los adultos mayores, ya que influyen directamente en su salud física y mental, así como en su capacidad para mantener relaciones sociales y preservar su identidad personal. El uso de técnicas de IA y PLN ha permitido desarrollar una solución tecnológica que captura y analiza el discurso. La integración de técnicas como el reconocimiento de voz y el análisis de sentimientos ha permitido que el sistema se adapte de manera adecuada a las particularidades lingüísticas y emocionales de este grupo poblacional. Al ofrecer una herramienta que permite detectar de manera temprana trastornos emocionales, el sistema se posiciona como una solución eficaz para intervenir oportunamente y mejorar la calidad de vida del adulto mayor.

La metodología propuesta para analizar el discurso de los adultos mayores y detectar sentimientos en tiempo real mostró resultados claros y útiles en la evaluación de las emociones expresadas. Se analizaron 20 discursos y se clasificaron según tres categorías emocionales: alegría, tristeza y enojo, además de una categoría neutra para aquellos discursos sin una emoción predominante.

El 40 % de los discursos procesados fueron identificados como expresiones de alegría. Esto sugiere que una porción significativa de adultos mostró estados emocionales positivos durante sus intervenciones. Esta cifra refleja que una buena parte de los participantes pudo compartir sentimientos de bienestar o satisfacción.

El 25 % de los discursos correspondieron a expresiones de tristeza. Este resultado indica que un cuarto de los adultos mayores, en sus relatos, manifestaron sentimientos de melancolía, pérdida o desánimo, lo cual podría ser relevante para detectar posibles riesgos de trastornos emocionales o depresivos.

Similar a la tristeza, el 25 % de los discursos mostraron enojo como sentimiento predominante. Esto podría reflejar frustración, irritación o insatisfacción con diferentes aspectos de su vida, como su entorno, la situación social o el envejecimiento. Finalmente, un 10 % de los discursos fueron clasificados como neutrales, es decir, no contenían una emoción claramente positiva ni negativa. Este porcentaje, relativamente bajo, sugiere que la mayoría expresaron emociones claras, ya sea positivas o negativas, durante la interacción.

Estos resultados confirman que la metodología es capaz de identificar de manera efectiva una amplia gama de emociones, lo que permite obtener una visión más profunda del bienestar emocional de los adultos mayores. La implementación de este tipo de tecnologías podría ser valiosa para detectar a tiempo señales de desajustes emocionales, promoviendo una intervención temprana y un mejor apoyo en el cuidado de la salud mental de este sector poblacional. A pesar de los buenos resultados obtenidos, se reconoció que el sistema tiene potencial para ser mejorado. Se identificó que la ampliación de la gama de sentimientos detectados y su reconocimiento más preciso podría aumentar aún más la eficacia de la metodología, lo que permitiría un análisis más profundo y detallado de las emociones de las personas adultas mayores en el futuro.

Conclusiones

La comunicación, especialmente el discurso, juega un papel crucial en el bienestar de los personas adultas mayores, ya que les permite expresar sus pensamientos, emociones y experiencias, así como mantener sus conexiones sociales. A pesar de los cambios que el envejecimiento puede traer en las capacidades comunicativas, el discurso sigue siendo una herramienta esencial para preservar su identidad personal y su autonomía. Además, el desentrañar las emociones (análisis del discurso) en las personas mayores proporciona información sobre su estado emocional y sus vivencias, reflejando su percepción del mundo y su integración social. Valorar y entender su forma de comunicar es una manera de reconocer su dignidad y contribuir a su bienestar general, asegurando que se sientan escuchados, respetados y parte activa de la sociedad.

Los resultados del proyecto son satisfactorios, ya que exponen correctamente el análisis del sentimiento de alegría, enojo y tristeza, tal como era el objetivo. Además, si el discurso dado es un discurso neutro, también refleja ese resultado.

Finalmente, se plantea una hipótesis interesante: los adultos mayores que no viven solos o que participan en actividades que requieren mayor atención tienden a ser más felices en comparación con aquellos que pasan más tiempo en soledad. Esta suposición sugiere una posible relación entre las conexiones sociales o el nivel de ocupación en la vida diaria y el bienestar emocional en la vejez, un tema que podría analizarse más a fondo.

Referencias

Ameer, I., Bölücü, N., Siddiqui, M. H. F., Can, B., Sidorov, G. y Gelbukh, A. (2023). Multi-label emotion classification in texts using transfer learning. *Expert Systems with Applications*, (213). https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118534

Banco Mundial. (2024). *Estimaciones del personal del Banco Mundial sobre la base de la distribución por edades/sexo de las previsiones demográficas mundiales de la división de población de las Naciones Unidas*. https://datos.bancomundial.org/indicator/sp.pop.65up.to.zs?end=2022&most_recent_year_desc=false&start=1960&type=shaded&view=chart

Benedetti, F., Acuña, J. y Fabiani, B. (2022). *Teleasistencia: innovaciones tecnológicas para el cuidado de personas a distancia*. Banco Interamericano de De-

sarrollo. http://dx.doi.org/10.18235/0004383

Flores, R. M., Priego, A. B. y Mendoza, E. (2025). Uso de la tecnología en personas adultas mayores en condición de dependencia. *Perspectivas Sociales*, *26*(1), 27-49. https://perspectivassociales.uanl.mx/index.php/pers/article/view/212

Guzmán, R., Priego, B., Mukhopadhyay, T., García, J. y Cordova, T. (2019). Classification of opinions in cross domains involving emotive values. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, *36*(5), 4877-4887. doi:10.3233/jifs-179035

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2024). *Demografía y Sociedad*. https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/

Landauer, T. K., McNamara, D. S., Dennis, S. y Kintsch, W. (Eds.). (2007). *Handbook of latent semantic analysis*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Manning, C. D. y Schütze, S. (1999). *Foundations of statistical natural language processing*. The MIT Press.

Mullah, H. (2015). A comparativesStudy of different text-to-speech synthesis techniques. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, *6*. 287-292.

Pérez, M. y Fayos, M. G. (2017). El impacto de las emociones en el análisis de la polaridad en textos con lenguaje figurado en Twitter. *Procesamiento del Lenguaje Natural*, (58), 85-92.

Priego, B., Cabrera, R., Carrillo, M. y Castro, W. (2021). Identifying the polarity of a text given the emotion of its author. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, *42*(5), 4709-4717. doi:10.3233/jifs-219258

Quinayás, G. (2021). Personas Adultas mayores frente a la inclusión social en América Latina: un estudio en red. Volumen I. *Estudios sobre las Culturas Contemporáneas*, *27*(54), 235-241. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31669754010

Russell, S. J. y Norvig, P. (2020). *Artificial intelligence: a modern approach* (4.ª ed.). Pearson.

Socher, R., Perelygin, A., Wu, J., Chuang, J., Manning, C. D., Ng, A. y Potts, C. (2013). Recursive deep models for semantic compositionality over a sentiment treebank. *Proceedings of the 2013 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 1631-1642.

Trofymenko, M., Bulatova, O., Trofymenko, A. y Vyshniakov, O. (2023). Digital development and technological innovations: inequality and asymetry. *Martketing and Mangement of Innovation*, *14*(3), 215-229. doi:10.21272/mmi.2023.3-19

Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, *59*(236), 433-460. doi:10.1093/mind/lix.236.433

Wan, X., Jiang, W. y Luo, Z. (2016). *Combination of convolutional and recurrent neural network for sentiment analysis of short texts.* 26th International Conference on Computational Linguistics, Osaka, Japón.

Zambrano, T. F., Thais, L. Á., Troncoso, C. J. y Ponce, J. A. (2024). Avances en la tecnología asistiva para mejorar la calidad de vida en adultos mayores: revisión actualizada en el contexto latinoamericano. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *8*(1), 645-662. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9450

Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA