



# gaceta

Órgano Oficial de Divulgación del Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán

AÑO 2026 | NÚM. 76 | YUCATÁN, MÉXICO



RENACIMIENTO MAYA  
**YUCATÁN**  
GOBIERNO DEL ESTADO | 2024 • 2030

**SECIHTI**

SECRETARÍA DE CIENCIA,  
HUMANIDADES, TECNOLOGÍA  
E INNOVACIÓN



**SIIDETEX**





**SIIDETEV**



RENACIMIENTO MAYA  
**YUCATÁN**  
GOBIERNO DEL ESTADO | 2024 • 2030

**SECIHTI**

SECRETARÍA DE CIENCIA,  
HUMANIDADES, TECNOLOGÍA  
E INNOVACIÓN



Parque Científico y  
Tecnológico de Yucatán



**gaceta**  
Órgano Oficial de Divulgación del Sistema de Investigación, Innovación  
y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán

## Órgano Oficial de Divulgación de la Ciencia y Tecnología en Yucatán

*Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán*

**inifap**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



TEXAS A&M UNIVERSITY  
Engineering



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
METROPOLITANA



UADY  
UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
DE YUCATÁN



CIATEJ



ANÁHUAC  
MAYAB



CentroGeo  
21°07'51"N 89°46'51"O 0008m



ECOSUR



Cinvestav  
UNIDAD MERIDA



CIESAS



CIMAT



CICY



UPY  
UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE YUCATÁN



Universidad  
Marista  
MÉRIDA



UNIVERSIDAD  
MODELO

Contáctanos: [gaceta.siidetey@gmail.com](mailto:gaceta.siidetey@gmail.com)

[www.siidetey.org](http://www.siidetey.org)

En el marco de una transformación global impulsada por el conocimiento, la innovación y la colaboración interdisciplinaria, la Gaceta SIIDETey No. 76 reafirma su compromiso como un espacio de divulgación científica que acerca a la sociedad yucateca a los avances más relevantes en ciencia, tecnología y humanidades.

En esta edición, convergen reflexiones y resultados de investigación que evidencian la complejidad de los retos contemporáneos y, al mismo tiempo, la capacidad de la comunidad científica para generar soluciones desde distintas perspectivas.

Uno de los ejes fundamentales que articula este número es el papel creciente de la inteligencia artificial como herramienta transversal. Desde su aplicación en la detección temprana de enfermedades neurológicas mediante el análisis de la voz, hasta su contribución en el desarrollo de vacunas y el fortalecimiento del diagnóstico médico, la IA se posiciona como una aliada estratégica para mejorar la calidad de vida de las personas.

De igual manera, se abordan sus implicaciones, particularmente en el ámbito educativo, donde se plantean importantes dilemas éticos y pedagógicos, así como en el plano ambiental, donde se visibiliza el impacto energético y la huella de carbono asociada a su uso.

De manera paralela, esta edición pone énfasis en la importancia de comprender y preservar nuestros recursos naturales.

El análisis de las representaciones sociales en torno al agua nos invita a reconocer no solo su valor físico, sino también su dimensión cultural y emocional, destacando

la necesidad de integrar el conocimiento científico con los saberes locales para una gestión sostenible.

El estudio sobre las ondas de calor y eventos fríos marinos en el Caribe aporta evidencia sobre los efectos del cambio climático en los ecosistemas arrecifales, subrayando la urgencia de fortalecer estrategias de conservación.

En el ámbito de la biotecnología y la producción sostenible, se presentan investigaciones que revalorizan el papel de las bacterias como aliadas en la acuicultura, demostrando su potencial para mejorar la salud de los organismos y la calidad del agua, contribuyendo así a prácticas más eficientes y responsables.

Finalmente, los trabajos incluidos en esta gaceta reflejan la diversidad de enfoques que caracterizan al ecosistema científico de Yucatán, donde instituciones académicas y centros de investigación colaboran activamente para generar conocimiento pertinente y con impacto social. Este esfuerzo colectivo fortalece la construcción de una sociedad basada en la ciencia, la innovación y el desarrollo tecnológico.

Desde el SIIDETey, reiteramos nuestro compromiso de impulsar la divulgación del conocimiento como un pilar fundamental para el desarrollo del estado, fomentando el diálogo entre la comunidad científica y la sociedad.

Invitamos a nuestras y nuestros lectores a explorar los contenidos de esta edición, que sin duda contribuirán a ampliar su perspectiva sobre los desafíos y oportunidades que enfrentamos en el presente.

**Dra. Mirna A. Manzanilla Romero**

Secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación  
del Gobierno del Estado de Yucatán  
Presidenta del SIIDETey



## Quiénes Somos:

La Gaceta SIIDETey No. 75, septiembre - diciembre 2025, es una publicación digital cuatrimestral, editada por el Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán; cuenta con un Comité Editorial que aprueba la publicación de los artículos y fotografías que son enviados por las instituciones miembros. Los artículos son responsabilidad de cada autor o autora y su utilización total o parcial debe ser autorizada por el SIIDETey.

La Gaceta SIIDETey tiene una paginación variable; es realizada en la ciudad de Mérida, Yucatán, México, en las oficinas de la Subsecretaría de Tecnología e Innovación de la SECITI Yucatán, ubicadas en la calle 31A No. 300 por 8, Col. San Esteban, C.P. 97149. Fecha de última modificación: 31 de diciembre de 2025.

# SIIDETEY

## DIRECTORIO

Secretaría de Ciencia, Humanidades,  
Tecnología e Innovación de Yucatán

**Dra. Mirna A. Manzanilla Romero**

Universidad Autónoma de Yucatán

**Dr. Carlos Alberto Estrada Pinto**

Centro de Investigación Científica de  
Yucatán

**Dra. Maira Rubi Segura Campos**

Centro de Investigación y de Estudios  
Avanzados del IPN. Unidad Mérida

**Dr. Gabriel Merino Hernández**

Subsede Sureste del Centro de  
Investigación y Asistencia en

Tecnología y Diseño del Estado  
de Jalisco

**Dr. Manuel Ramírez Sucre**

Centro de Investigaciones y Estudios  
Superiores en Antropología Social

**Dra. Martha Patricia Mendoza Ramírez**

Universidad Nacional Autónoma de  
México

**Dr. Edgar Torres Irineo**

Universidad Tecnológica  
Metropolitana

**Mtra. Marysol Canto Ortiz**

Instituto Tecnológico de Conkal

**Mtra. Rocío Elizabeth Pulido Ojeda**

Centro de Investigación Regional  
Sureste del Instituto Nacional de  
Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

**Dr. Antonio Villalobos González**

Instituto Tecnológico de Mérida

**Ing. Heriberto Herrera Colocía**

Texas A&M University

**Dr. Zenón Medina Cetina**

Universidad Anáhuac Mayab

**Ing. Miguel Pérez Gómez**

Universidad Marista de Mérida

**M.I. Ermilo José Echeverría**

**Castellanos**

Centro de Investigación en Ciencias  
de Información Geoespacial-Mérida

**Dr. Oscar Sánchez Siordia**

Centro de Investigación en  
Matemáticas

**Dr. José Carlos Gómez Larrañaga**

El Colegio de la Frontera Sur

**Dr. Antonio Saldívar Moreno**

Universidad Politécnica de Yucatán

**Mtro. Aarón Rosado Martínez**

Universidad Modelo

**Ing. Carlos Sauri Duch**

## COMITÉ EDITORIAL

### UNAM-ENES MÉRIDA

Daniela H. Tarhuni Navarro

### INIFAP

Raúl Díaz Plaza

### CICY

Miguel Gibrán Román Canto

### CENTROGEO

Silvia Fidelina Fernández Sabido

Jaziel Carballo Tadeo

### UNAM CAMPUS YUCATÁN

Mónica S. Enríquez Ortiz

### IT - CONKAL

Carlos Juan Alvarado López

### UNIVERSIDAD MARISTA DE MÉRIDA

Alfonso Cuevas Jiménez

### CIATEJ

Élida Gastélum Martínez

### Universidad Anáhuac Mayab

Mariana Berenice González Leija

### CIESAS

Inés Isabel Cortés Campos

Cristóbal Alfonso Sánchez Ulloa

### UADY

Ramón Peniche Mena

### UNIVERSIDAD MODELO

Jorge Carlos Canto Esquivel

### ECOSUR

María Magdalena Jiménez Ramírez

### CINVESTAV

Rafael Rivera Bustamante

### CIMAT

Joel Antonio Trejo Sánchez

### SECIHTI Yucatán

Judith Ortega Canto

### ITM

Gabriel Lizama Uc

### UPY

Lucero Priscila Damián Adame

### IMSS

Gloria María Molina Salinas

### Responsable de la información

Subsecretaría de Tecnología e  
Innovación

### Responsable de la publicación

Subsecretaría de Tecnología e  
Innovación

### Diseño editorial

Dirección de Divulgación  
Institucional y Difusión  
de la Ciencia (SECIHTI)

<b>Representaciones y afectos en torno al agua: una aproximación desde el sentido común</b>	<b>7</b>
<b>La voz como ventana al cerebro: cómo la inteligencia artificial detecta enfermedades neurológicas</b>	<b>10</b>
<b>La inteligencia artificial, una aliada en la medicina</b>	<b>14</b>
<b>Ondas de calor marinas, eventos fríos marinos y su co-ocurrencia con eventos de blanqueamiento de coral en el mar caribe</b>	<b>18</b>
<b>El aprendizaje basado en la IA</b>	<b>22</b>
<b>Modelos inteligentes, costos ambientales: el impacto oculto del CO<sub>2</sub> en la IA moderna</b>	<b>25</b>
<b>Las bacterias como aliadas de la acuicultura</b>	<b>29</b>
<b>Impresión 3D de componentes robóticos: Materiales avanzados y aplicaciones</b>	<b>32</b>
<b>El ocaso del plástico: cuando lo eterno se fragmenta</b>	<b>36</b>
<b>Patrimonio biocultural y relevo generacional: del gareteo al aula en el Telebachillerato Comunitario de Sisal</b>	<b>39</b>

# Representaciones y afectos en torno al agua: una aproximación desde el sentido común

## **Autores:**

Eduardo D. Puc-Vázquez; Bertha Hernández-Aguilar e Iris Neri Flores

## **Correo de contacto:**

eduardo.puc@enesmerida.unam.mx

## **Palabras clave:**

Agua, Monitoreo, Afectividad, Sentido Común

El agua constituye uno de los recursos más importantes del planeta, valorado por todas las especies que en él habitan. El desabasto y calidad son temas actuales de discusión. Según la FAO (2024) 10% de la población mundial enfrenta problemas de desabasto y/o calidad del agua; por su parte la WWAP (2017) estima que el 80% de las aguas residuales son vertidas al ambiente sin tratamiento previo, con efectos peligrosos para la salud.

En México, conforme al Programa Nacional Hídrico 2020-2024, se ha incrementado la extracción de agua en cuencas y acuíferos, ocasionando sobreexplotación y mayor presión hídrica. No obstante, las aguas superficiales siguen siendo contaminadas por descargas residuales municipales e industriales sin tratamiento; agroquímicos; contaminantes orgánicos; nitrógeno y fósforo.

A nivel local, Yucatán, Campeche y Quintana Roo conforman la región hidrológica-administrativa XII-Península de Yucatán, caracterizada por baja presión hídrica y suficiente disponibilidad de agua subterránea, sin embargo, entre 2003 y 2020 la cantidad de líquido disponible disminuyó un 59%. En términos de calidad, los resultados de un estudio realizado de 2012 a 219 en 331 sitios de la región demostraron que, apenas, el 49% presentaron calidad aceptable; y 5% con calidad limitada con niveles altos de nitritos, Arsénico, Hierro, Coliformes Fecales y Plomo<sup>1</sup>

(Programa Hídrico Regional 2020-2024)

## **Conocimiento del agua desde el sentido común**

Para Moscovici (1979), las personas elaboran sus propias teorías desde el sentido común para dar orden al mundo que aparece como un caos, interpretando lo que sucede alrededor. El agua, como fenómeno social polémico no está exento de este tipo de análisis. Si bien se reconoce la importancia del análisis físico-químico para desarrollar mejores tecnologías que permitan el cuidado hídrico, también resulta relevante analizar las percepciones a fin de entender como la significan.

En el marco del proyecto “Retos de la Gobernanza de un sistema socio hidrológico vulnerable: el caso del abastecimiento de agua en Mérida, Yucatán”, en mayo de 2025 se realizaron dos talleres con el objetivo de promover el monitoreo participativo de pozos artesanales como una herramienta para la gestión del agua. Como parte de las actividades del taller se desarrolló “Mi historia con el agua” con la finalidad de recuperar experiencias relacionadas con el agua. Los resultados de este documento provienen de la implementación en la ENES Mérida, con participación de 10 habitantes de Mérida, Yucatán.

<sup>1</sup>Altos niveles en los parámetros de análisis son indicador negativo para el uso y/o consumo humano, animal y/o vegetal del agua.



Figura 1. Actividad en LANCIS-IE Mérida

Los participantes refieren a los sentidos (vista, olfato, gusto, tacto) para comprender la salud del agua. La carencia de color, olor, sabor y de contaminantes fungen como características principales, mientras que la temperatura (que sea fría) y que no presente sólidos, aparecen como ideas secundarias. Por otro lado, se encontró la existencia de un vínculo emocional del agua con la infancia y la familia, como se puede leer a continuación:

*“Entre mis recuerdos está la formación de una capa de escarcha de hielo en el pozo del rancho de mis abuelitos. Ah, qué bonito. [...]”* (Participante H1)

*“Cuando en mi infancia yo me bañaba bajo la lluvia. Corriendo y al finalizar dicha lluvia, con el agua, me acuerdo de que toda esa agua acumulada era otro momento de esparcimiento y de juego [...]”* (Participante M1)

El puente entre los sentidos y los procesos cognitivos se hace presente, toda vez que los primeros fungen como vehículos de la memoria y el recuerdo (Ackerman, 1992). El conjunto de discursos de los participantes se centró particularmente en la lluvia, centrando el recuerdo al olor a “tierra mojada” y la estética visual que recrea en forma de cascadas las aguas acumuladas por las precipitaciones. Al cuestionar la situación del agua en los próximos 10 años, expresaron desesperanza y preocupación por su calidad. Consideran que se volverá limitada y se convertirá en un tesoro provocadora de tensiones y discusiones, así como, posiblemente problemas de salud.

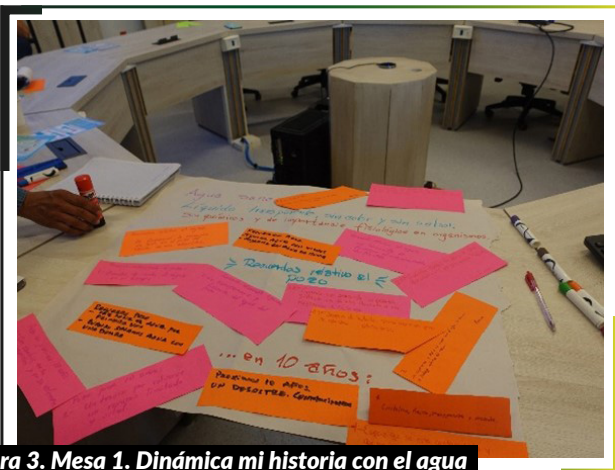


Figura 3. Mesa 1. Dinámica mi historia con el agua



Figura 4. Mesa 2. Dinámica mi historia con el agua

## Las representaciones sociales en el monitoreo participativo para un futuro sostenible

El significado de la experiencia vivida en torno al agua cobra sentido, dependiendo de quién la narra y desde donde lo hace. El discurso científico ha aportado elementos para el conocimiento del agua en muchas de sus variables; no obstante, estas aproximaciones tienden a invisibilizar o minimizar otros modos de conocimiento, especialmente los saberes y sentires locales, posicionándolos debajo de la racionalidad científica. Desde una perspectiva crítica y transdisciplinaria, se vuelve indispensable integrar el conocimiento situado y emergente del sentido común, a fin de aproximarse a las maneras en las que las personas viven, conviven y se afectan con el agua. Escuchar y valorar las formas en las que personas viven, coexisten y se afectan por las problemáticas del agua contribuye a nutrir las evaluaciones técnicas y, en consecuencia, fortalecer el proceso colectivo de toma de decisiones.

## Agradecimientos

A todos los participantes del taller por compartirnos su tiempo y sus saberes, a los alumnos, académicos e investigadores miembros del proyecto por su entusiasmo y participación. Esta investigación se realiza gracias al programa UNAM-PAPIIT IA301525, quienes han otorgado el financiamiento para llevar a cabo espacios de intercambio de saberes y conocimientos científicos. Asimismo, agradecemos especial al PAPIIT IA104722-UNAM. "Límites Ambientales hidrogeológicos en cuencas Kársticas", por identificar los pozos artesanales como sitios estratégicos del valor del agua.



## Referencias bibliográficas

---

Ackerman, D. (1992). Una historia natural de los sentidos. Anagrama

Grael Castro, E. (2010). Hidrología. En R. Durán y M. Méndez (Eds.) Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán (pp. 12-13). CICY/PPD-FMAM/CONABIO/SEDUMA.

Moscovici, S. (1979). El Psicoanálisis, su imagen y su público. Paidós.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Organización de las Naciones Unidas (ONU-Agua). (2024). Progresos en el nivel de estrés hídrico: Situación a mitad de período del Indicador 6.4.2 de los ODS y necesidades de aceleración, con especial atención a la seguridad alimentaria. FAO.

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP). (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. UNESCO.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua. Programa Hídrico Regional 2020-2024. Región Hidrológica-Administrativa XII Península de Yucatán. CONAGUA.

# La voz como ventana al cerebro: cómo la inteligencia artificial detecta enfermedades neurológicas

## Autores:

Margarita Reyes-Sierra, Miguel A. Alvarez-Carmona, Ramón Aranda

## Correo de contacto:

(maria.sierra@cimat.mx, miguel.alvarez@cimat.mx, arac@cimat.mx)

## Palabras clave:

inteligencia artificial, enfermedades neurológicas, México, Patrones.

## Introducción

En México, más de un millón de personas conviven con demencia o Alzheimer y miles más podrían tener Parkinson u otras enfermedades neurodegenerativas; muchas veces sin diagnóstico temprano (Gutierrez-Robledo et al., 2022; Organización Mundial de la Salud, 2023a, 2023b). En la Figura 1, se muestra una estimación de casos de este tipo de enfermedades en adultos mayores ( $\geq 60$  años), para los Estados de la República Mexicana (Juárez-Cedillo et al., 2022; GBD 2019, 2022, INEGI 2021).

Uno de los síntomas frecuentes en las enfermedades neurodegenerativas es el deterioro del habla, que afecta la comunicación, la autonomía y, en general, la calidad de vida de los pacientes (Rusz et al., 2013). Actualmente, este tipo de enfermedades se detectan a través de la observación clínica de síntomas motores (rigidez, lentitud de movimientos, etc.), pruebas psicológicas (memoria, atención, etc.), estudios de neuroimagen y, en algunos casos, estudios invasivos que requieren de punciones lumbares (Armstrong & Okun, 2020; McKhann et al., 2011).

Esto da lugar a la pregunta: ¿es posible detectar estas enfermedades sin agujas o estudios costosos? La respuesta es ¡sí! Hoy sabemos que la voz es mucho más que un sonido: es el

resultado de un trabajo en equipo del cerebro, el sistema motor, la respiración, la lengua y hasta las emociones (Figura 2). De esta forma, cuando una enfermedad afecta estas áreas, la voz cambia incluso antes de que los síntomas sean claramente visibles para especialistas o familiares (Rusz et al., 2013; Eyigoz et al., 2020; Rusz et al., 2024).

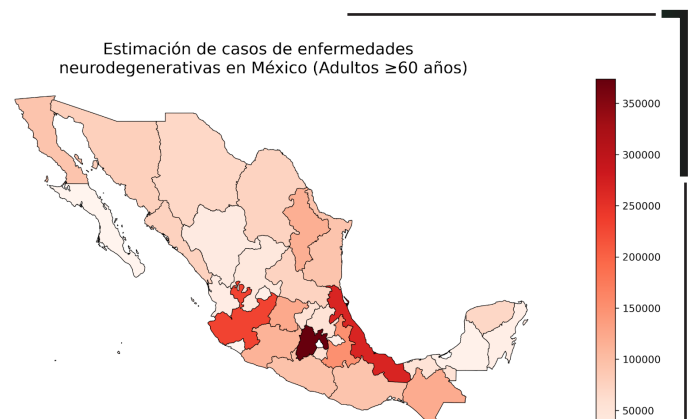


Figura 1. Mapa de calor de la estimación casos personas con enfermedades neurodegenerativas en México.

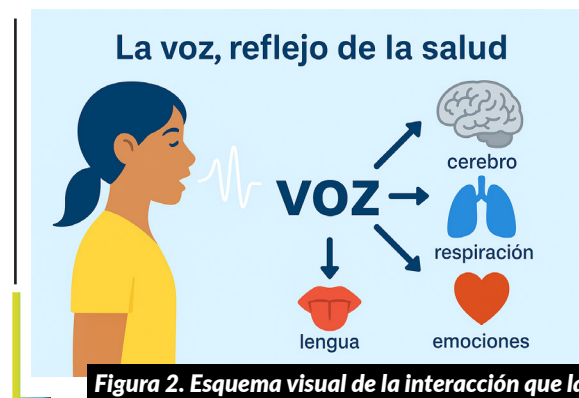


Figura 2. Esquema visual de la interacción que la voz tiene con diferentes organismos del cuerpo como: el cerebro, la respiración, la lengua y las emociones.

**Detección a través de la voz**

Es posible detectar enfermedades neurológicas a partir de registros de voz, a través del uso de biomarcadores digitales. En medicina, un biomarcador es cualquier indicador medible de salud o enfermedad: desde la temperatura corporal hasta una proteína en la sangre (Biomarkers Definitions Working Group, 2001). Así, un biomarcador digital es lo mismo, pero capturado a través de tecnología como, por ejemplo, el pulso medido por un reloj (Coravos et al., 2019).

La voz es una fuente ideal de biomarcadores digitales porque no requiere estudios invasivos para registrarse (Figura 3) y el registro puede realizarse incluso a distancia (vía telefónica, por llamada o aplicaciones).

Existen diversos estudios que indican que la voz puede servir como una ventana para detectar enfermedades neurológicas o monitorizar su progresión, porque cambia de forma temprana cuando existe algún daño (Eyigoz et al., 2020; Rusz et al., 2024).



**Figura 3. Ejemplo en una entrevista para obtener datos de voz.**

La voz, es decir, la forma en la que hablamos, tiene distintas propiedades a partir de las cuales pueden obtenerse distintos biomarcadores digitales que pueden ayudar al detectar algún daño neurológico. En la Tabla 1 podemos ver algunos ejemplos.

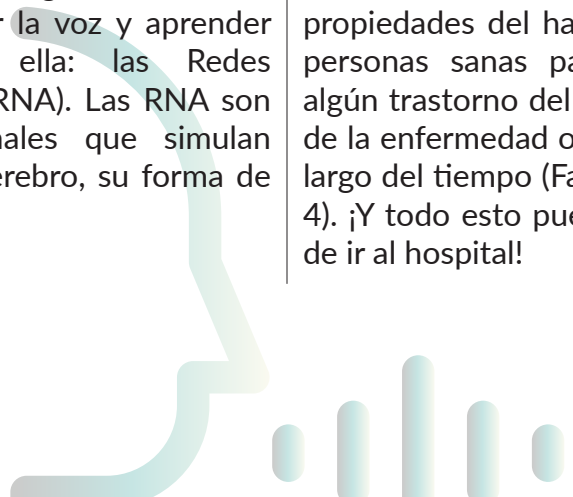
Propiedad	Biomarcadores digitales	¿Qué pueden detectar?
Fonación	Estabilidad del tono, temblor	Parkinson
Articulación	Claridad de consonantes y vocales	Deterioro motor
Prosodia	Ritmo, pausas, entonación	Enfermedad cognitiva
Lenguaje	Elección de palabras, errores gramaticales	Alzheimer/Deterioro cognitivo leve

**Tabla 1. Relación de biomarcadores y enfermedades ayudan a detectar.**

**¿Cómo ayuda la inteligencia artificial?**

Existen técnicas de Inteligencia Artificial (IA) que pueden analizar la voz y aprender patrones ocultos en ella: las Redes Neuronales Artificiales (RNA). Las RNA son programas computacionales que simulan el funcionamiento del cerebro, su forma de aprender.

Existen RNA muy complejas, capaces de convertir la voz en miles de números. Estas redes se entrenan, es decir, aprenden las propiedades del habla a partir de la voz de personas sanas para, así, poder detectar algún trastorno del habla, medir la gravedad de la enfermedad o monitorear cambios a lo largo del tiempo (Favaro et al., 2023) (Figura 4). ¡Y todo esto puede ocurrir sin necesidad de ir al hospital!





**Figura 4. Esquematización de las etapas para analizar la voz por medio de la IA.**

Actualmente, existen aplicaciones móviles y pruebas telefónicas que permiten hacer evaluaciones rápidas desde casa, lo cual es especialmente valioso para personas mayores con movilidad reducida o en regiones con poco acceso a especialistas (Figura 5). En México y otros países hispanohablantes se están desarrollando proyectos para llevar estas tecnologías a la práctica clínica. Sin embargo, aunque el español es hablado por más de 500 millones de personas, la mayoría de los modelos de IA siguen entrenándose principalmente con datos, es decir, registro de voces en inglés, por lo que es necesario contar con más datos en español, especialmente mexicano, para mejorar significativamente la detección de dichos padecimientos (Vásquez-Correa et al., 2021).



**Figura 5. Ejemplo de evaluaciones rápidas desde casa usando tecnologías como el internet y celulares.**

## Conclusiones

La voz puede convertirse en una gran aliada para el cuidado de la salud. Gracias a la IA, los cambios más sutiles en el habla pueden transformarse en señales tempranas que alerten sobre enfermedades como Parkinson, Alzheimer o Deterioro Cognitivo Leve. Estas herramientas, además de ser accesibles y no invasivas, podrían acercar el diagnóstico y seguimiento a cualquier lugar donde haya un teléfono móvil o una computadora.

En este sentido, para que esto sea una realidad, es necesario desarrollar tecnologías que comprendan la manera en que hablamos en diferentes regiones y culturas, por lo que es importante impulsar la creación de bases de datos representativas de nuestro idioma y fomentar la colaboración entre medicina, ingeniería y lingüística que permita que estas innovaciones lleguen a hospitales, clínicas y hogares.

## Referencias bibliográficas

---

- Armstrong, M. J., & Okun, M. S. (2020). Diagnosis and treatment of Parkinson disease: A review. *JAMA*, 323(6), 548–560. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.22360>
- Biomarkers Definitions Working Group. (2001). Biomarkers and surrogate endpoints: Preferred definitions and conceptual framework. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 69(3), 89–95. <https://doi.org/10.1067/mcp.2001.113989>
- Coravos, A., Khozin, S., & Mandl, K. D. (2019). Developing and adopting safe and effective digital biomarkers to improve patient outcomes. *npj Digital Medicine*, 2(1), 14. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0090-4>
- Eyigoz, E., Mathur, S., Santamaria, M., Cecchi, G. A., & Naylor, M. (2020). Linguistic markers predict onset of Alzheimer's disease. *npj Digital Medicine*, 3(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-0286-0>
- Favaro, A., Tsai, Y. T., Butala, A., Thebaud, T., Villalba, J., Dehak, N., & Moro-Velázquez, L. (2023). Interpretable speech features vs. DNN embeddings: What to use in the automatic assessment of Parkinson's disease in multi-lingual scenarios. *Computers in Biology and Medicine*, 166, Article 107559. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2023.107559>
- Global Burden of Disease (GBD) 2019 Neurology Collaborators. (2022). Global, regional, and national burden of Parkinson's disease, 1990–2019: A systematic analysis. *The Lancet Neurology*.
- Gutierrez-Robledo, L. M., Aranda, M. P., Pérez-Zepeda, M. U., & Ávila-Funes, J. A. (2022). Prevalence of dementia in the Mexican population: Findings from the Mexican Health and Aging Study. *Alzheimer's & Dementia*, 18(1), 130–139. <https://doi.org/10.1002/alz.12426>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Censo de Población y Vivienda 2020. INEGI.
- Juárez-Cedillo, T., Sánchez-Arenas, R., Rosas-Carrasco, O., et al. (2022). The Study on Aging and Dementia in Mexico (SADEM). *Alzheimer's & Dementia: Diagnosis, Assessment & Disease Monitoring*.
- McKhann, G. M., Knopman, D. S., Chertkow, H., Hyman, B. T., Jack, C. R., Jr., Kawas, C. H., Klunk, W. E., Koroshetz, W. J., Manly, J. J., Mayeux, R., Mohs, R. C., Morris, J. C., Rossor, M. N., Scheltens, P., Carrillo, M. C., Thies, B., Weintraub, S., & Phelps, C. H. (2011). The diagnosis of dementia due to Alzheimer's disease: Recommendations from the NIA-AA workgroups. *Alzheimer's & Dementia*, 7(3), 263–269. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2011.03.005>
- Organización Mundial de la Salud. (2023a). Demencia. Hoja informativa. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dementia>
- Organización Mundial de la Salud. (2023b). Enfermedad de Parkinson. Hoja informativa. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/parkinson-disease>
- Rusz, J., Čmejla, R., Růžička, E., & Klempíř, J. (2013). Acoustic quantification of speech impairment in early stages of Parkinson's disease. *Journal of Neurology*, 260(8), 2242–2253. <https://doi.org/10.1007/s00415-012-6809-4>
- Rusz, J., Tykalova, T., Klempíř, J., Čmejla, R., Růžička, E., & Samandari, R. (2024). Digital speech biomarkers for neuromotor disorders: Current advances and clinical translation. *npj Digital Medicine*, 7(1), 12. <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00968-3>
15. Vásquez-Correa, J. C., Rios-Urrego, C. D., Arias-Vergara, T., Schuster, M., Rusz, J., Nöth, E., & Orozco-Arroyave, J. R. (2021). Transfer learning helps to improve the accuracy to classify patients with different speech disorders in different languages. *Pattern Recognition Letters*, 150, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2021.07.019>

# La inteligencia artificial, una aliada en la medicina

## Autores:

Ángel Adrián Bustillos Sosa, Gilma Guadalupe Sánchez Burgos

## Correo de contacto:

gilmagburgos@gmail.com

## Palabras clave:

Medicina, Inteligencia Artificial, Epitopos, Vacunas, Lesiones cervicouterinas

La Inteligencia Artificial (IA), particularmente el aprendizaje automático (Machine Learning), se ha convertido en una herramienta fundamental para acelerar procesos complejos y mejorar su eficiencia en diversas áreas de la medicina.

El desarrollo de modelos computacionales inteligentes se apoya en diversos métodos de aprendizaje automático, reconocimiento de patrones y algoritmos de clasificación, que, mediante el análisis de grandes cantidades de datos, resultan en sistemas que son capaces de reconocer diferentes patrones complejos que para un ser humano serían más difíciles de detectar. Entre la amplia gama de clasificadores existentes, cada uno con sus propias limitaciones y ventajas, las redes neuronales sobresalen por su habilidad para analizar patrones complejos en los datos, siendo útiles en la investigación para el desarrollo de vacunas, o como apoyo para la detección más eficaz de diversas enfermedades (Fig. 1).

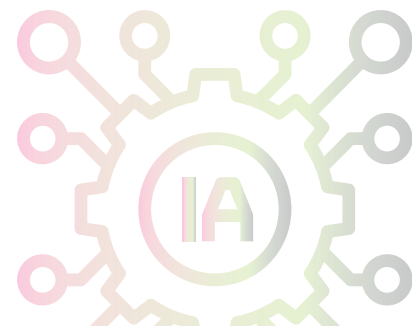
## Identificación de epitopos candidatos a vacunas

El paso más crucial para el diseño de vacunas, es la identificación del antígeno capaz de inducir una respuesta inmune protectora y eficaz. Para lograrlo suelen emplearse distintas metodologías que resultan muy complejas, además de que consumen mucho tiempo y recursos, lo que hace del desarrollo de vacunas una tarea exhaustiva.

En las últimas décadas, se han desarrollado modelos computacionales que tienen como objetivo identificar péptidos o epitopos altamente inmunogénicos que sirvan como candidatos a vacunas contra diversos virus. Desafortunadamente, estos programas aún carecen de alta sensibilidad y especificidad, por lo que la búsqueda de mejores modelos computacionales para predecir epitopos con mayor precisión es una tarea activa.



**Figura 1. Ilustración generada por IA, como apoyo dentro de los procesos de investigación.**



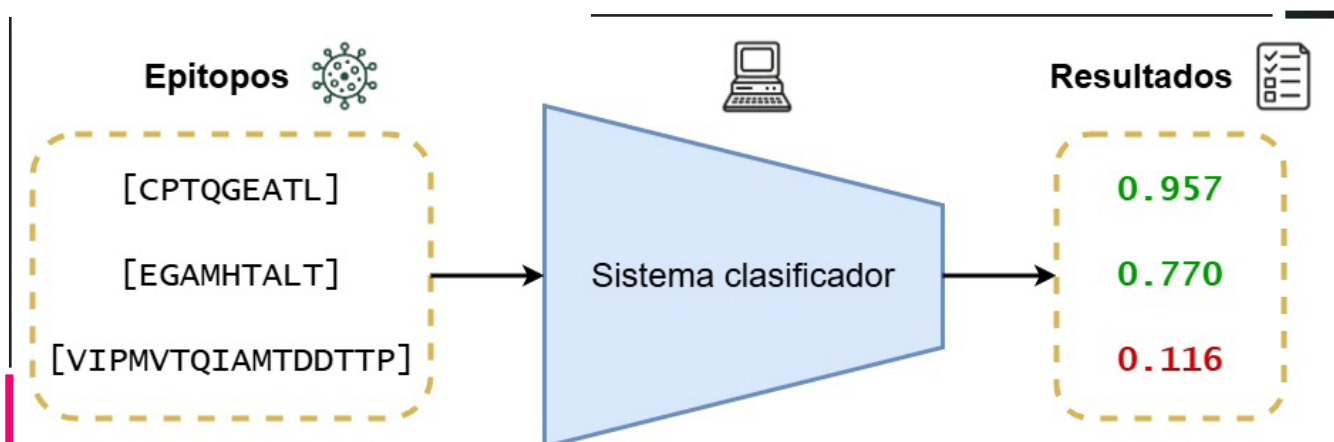
En la Unidad de Investigación Médica Yucatán, en colaboración con investigadores del Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi” y de la Facultad de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Yucatán, empleamos varias estrategias con herramientas que utilizan aprendizaje automático para identificar nuevos candidatos a vacunas (Figura 2). Por un lado, a través del análisis de proteínas con varios programas bioinformáticos, identificamos varios epitopos lineales seleccionados por su alto valor probabilístico de ser epitopo, obtenido con los clasificadores empleados (Fig. 3); con base en las secuencias de aminoácidos de estos epitopos, se obtuvieron péptidos sintéticos que estimularon la producción de anticuerpos y la activación de linfocitos T en ensayos *in vitro*, *in vivo* y *ex vivo*, demostrando potencial para prevenir la infección por virus dengue y chikungunya (Sánchez-Burgos et al., 2010; 2021). Los epitopos identificados son útiles en la detección de anticuerpos IgG en personas infectadas por el virus del Dengue,

por lo que nuestra estrategia también podría contribuir de manera, rápida, fácil y económica al diagnóstico serológico diferencial entre las infecciones por estos virus.



**Figura 2. Estrategia implementada para identificar epitopos de virus dengue y chikungunya.**

Por otro lado, desarrollamos un modelo computacional con mayor rendimiento que varios modelos desarrollados previamente para la predicción de epitopos lineales (Fig. 3). Se trata de un clasificador híbrido de aprendizaje profundo entrenado con más de 200,000 secuencias de epitopos obtenidas de la base de datos IEDB, cuyo objetivo es distinguir eficientemente entre epitopos y no epitopos de células B. La metodología involucró el diseño, entrenamiento y comparación de cuatro modelos de aprendizaje automático, empleando tres tipos de redes neuronales artificiales para establecer una base de comparación para el rendimiento, la Red Completamente Conectada (FCN), la Red Recurrente LSTM y la Red Convolutiva (CNN), ya que cada arquitectura procesa los datos de distinta manera.



**Figura 3. Pasos del clasificador desarrollado por nosotros. Los datos de entrada son letras representativas de aminoácidos. Los datos de salida, son número del 0 al 1 que indican la probabilidad de ser epitopo.**

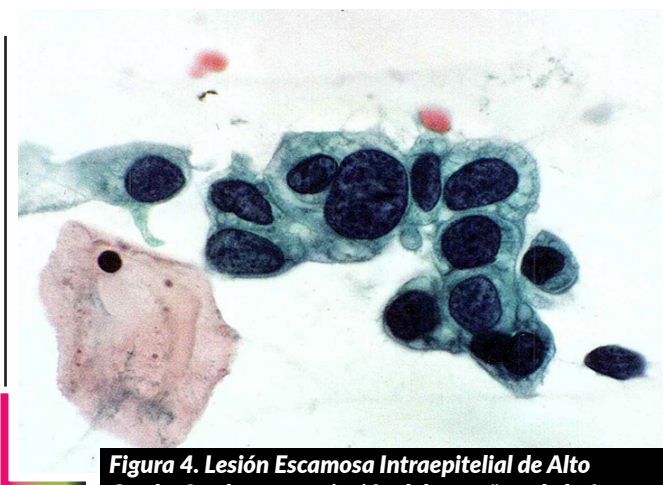
El resultado del estudio fue la creación de un modelo híbrido concatenando las salidas de la última capa oculta de la FCN, la LSTM y la CNN en un solo vector, logrando un desempeño superior al de los modelos por separado. El Área Bajo la Curva (AUC) de 0.96 para el conjunto de datos de prueba, indicó una capacidad predictiva y de discriminación excelente. Este modelo híbrido proporciona un método robusto y preciso para la detección de péptidos antigénicos a partir de secuencias de aminoácidos de longitud variable, contribuyendo a acelerar los procesos de diseño racional de vacunas.

### Modelos computacionales para la clasificación y predicción de neoplasias cervicouterinas

La aplicación de la IA ha demostrado mejorar el diagnóstico visual de diversas enfermedades. La combinación de redes neuronales artificiales, usando datos de diagnóstico de lesiones intraepiteliales cervicouterinas por citología, PCR y colposcopia en 6 clasificadores diferentes, mostró mayor sensibilidad, especificidad y valores predictivos para detectar neoplasia epitelial cervical grado II o mayor (Bountris et al.,

2014). Otros estudios también demostraron la factibilidad de aplicaciones clínicas de la IA para mejorar la calidad del diagnóstico en neoplasias intraepiteliales cervicales (Bao et al., 2020; Hu et al., 2018; Xue et al., 2020).

Nuestro grupo está desarrollando un clasificador basado en redes neuronales, para identificar las características del cérvix uterino que determinen la presencia o ausencia de lesiones intraepiteliales precursoras de cáncer cervicouterino (Fig. 4 y 5). La optimización de los parámetros de los modelos se lleva a cabo usando imágenes digitales de lesiones intrauterinas detectadas por citología en base líquida, confirmadas por un médico citólogo con amplia experiencia, empleando diversas estrategias de codificación para alimentar los datos de entrada de varios modelos. Finalmente, una vez que se obtengan los resultados de diagnóstico referido por la IA, se realizarán diversas pruebas comparativas con el diagnóstico visual reportado por el médico citólogo, para así determinar el rendimiento de nuestros modelos, los cuales podrían ser un gran apoyo para sistematizar la clasificación de lesiones premalignas del cérvix uterino, utilizadas por médicos especialistas y en la telemedicina.



**Figura 4. Lesión Escamosa Intraepitelial de Alto Grado. Se observa variación del tamaño y de la forma nuclear, citoplasma claro y transparente (Solomon & Nayar, 2015).**



**Figura 5. Carcinoma escamoso queratinizante. Células pleomorfas, con hiperchromasia, irregularidad nuclear, queratinización citoplasmática y diátesis tumoral en el fondo (Solomon & Nayar, 2015).**

## Referencias bibliográficas

---

Bao, H., Bi, H., Zhang, X., Zhao, Y., Dong, Y., Luo, X., Zhou, D., You, Z., Wu, Y., Liu, Z., Zhang, Y., Liu, J., Fang, L., & Wang, L. (2020). Artificial intelligence-assisted cytology for detection of cervical intraepithelial neoplasia or invasive cancer: A multicenter, clinical-based, observational study. *Gynecologic Oncology*, 159(1), 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.ygyno.2020.07.099>

Bountris, P., Haritou, M., Pouliakis, A., Margari, N., Kyrgiou, M., Spathis, A., Pappas, A., Panayiotides, I., Paraskevaidis, E. A., Karakitsos, P., & Koutsouris, D. (2014). An Intelligent Clinical Decision Support System for Patient-Specific Predictions to Improve Cervical Intraepithelial Neoplasia Detection. *BioMed Research International*, 2014, 1-20. <https://doi.org/10.1155/2014/341483>

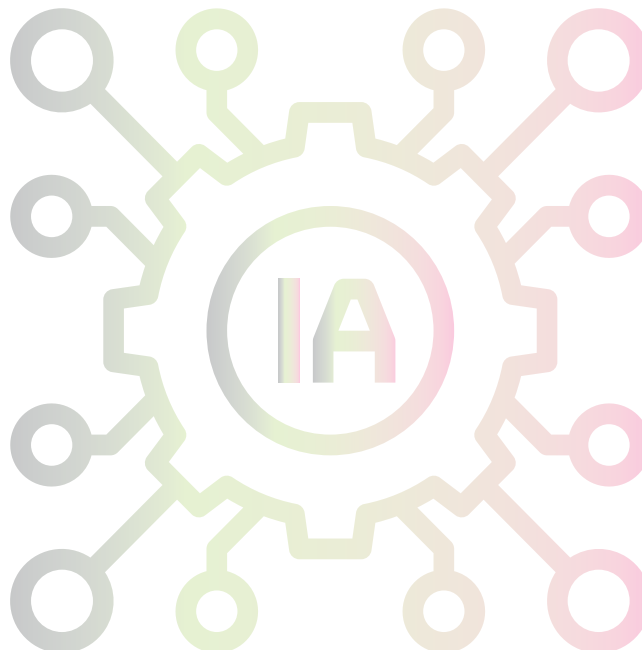
Hu, L., Bell, D., Antani, S., Xue, Z., Yu, K., Horning, M. P., Gachuhi, N., Wilson, B., Jaiswal, M. S., Befano, B., Long, L. R., Herrero, R., Einstein, M. H., Burk, R. D., Demarco, M., Gage, J. C., Rodriguez, A. C., Wentzensen, N., & Schiffman, M. (2018). An Observational Study of Deep Learning and Automated Evaluation of Cervical Images for Cancer Screening. *JNCI Journal Of The National Cancer Institute*, 111(9), 923-932. <https://doi.org/10.1093/jnci/djy225>

Sánchez-Burgos, G., Montalvo-Marin, N., Díaz-Rosado, E., & Pérez-Rueda, E. (2021). In Silico Identification of Chikungunya Virus B- and T-Cell Epitopes with High Antigenic Potential for Vaccine Development. *Viruses*, 13(12), 2360. <https://doi.org/10.3390/v13122360>

Sánchez-Burgos, G., Ramos-Castañeda, J., Cedillo-Rivera, R., & Dumonteil, E. (2010). Immunogenicity of novel Dengue virus epitopes identified by bioinformatic analysis. *Virus Research*, 153(1), 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2010.07.014>

Solomon, D., & Nayar, R. (Eds.) (2015). *The Bethesda System for Reporting Cervical Cytology: Definitions, Criteria, and Explanatory Notes*. 3rd Edition. New York: Springer

Xue, P., Tang, C., Li, Q., Li, Y., Shen, Y., Zhao, Y., Chen, J., Wu, J., Li, L., Wang, W., Li, Y., Cui, X., Zhang, S., Zhang, W., Zhang, X., Ma, K., Zheng, Y., Qian, T., Ng, M. T. A., . . . Zhao, F. (2020). Development and validation of an artificial intelligence system for grading colposcopic impressions and guiding biopsies. *BMC Medicine*, 18(1), 406. <https://doi.org/10.1186/s12916-020-01860-y>



# Ondas de calor marinas, eventos fríos marinos y su co-ocurrencia con eventos de blanqueamiento de coral en el Mar Caribe

## Autoras:

Ma. Eugenia Allende-Arandía, Cetina-Heredia Paulina

## Correo de contacto:

mallendea@iingen.unam.mx

## Palabras clave:

arrecifes de coral, blanqueamiento de coral, eventos fríos marinos, mar caribe,

Eventos de temperaturas oceánicas extremadamente cálidas y frías que persisten cinco días o más se denominan ondas de calor marinas (MHWs, por sus siglas en inglés) y eventos fríos marinos (MCSs), respectivamente. El análisis de la temperatura superficial del mar, observada por satélites en las últimas décadas ha revelado que las MHWs ocurren con mayor frecuencia y tienen importantes implicaciones ecológicas. La estacionalidad de las MHWs y MCSs ha sido objeto de estudio reciente, ya que caracterizar esta variabilidad es relevante debido a la prevalencia y continuidad de los ciclos estacionales en los ecosistemas marinos. En particular, el efecto de las MHWs en los sistemas arrecifales, a través del estrés térmico, puede ser significativamente intenso en verano, aumentando su vulnerabilidad, y provocando el conocido síndrome blanco (blanqueamiento), el cual se correlaciona positivamente con la frecuencia de temperaturas anómalamente cálidas (Bruno et al. 2007).

Durante los meses cálidos, las MHWs prolongadas o consecutivas tienen el potencial de facilitar brotes de enfermedades, mientras que las MCSs pueden proporcionar alivio del estrés térmico y favorecer mecanismos

de recuperación. Además, las MHWs en periodos fríos pueden suprimir mecanismos que fortalecen la resiliencia coralina, y las MCSs pueden provocar mortalidad (Lirman et al., 2011). No obstante, los eventos fuera del verano también pueden dificultar la capacidad de los corales para recuperarse de episodios previos de blanqueamiento. La biomasa de los corales aumenta durante los meses de invierno y se fortalece ante futuros estresores (Brown et al., 1999); sin embargo, este proceso puede verse comprometido por temperaturas más cálidas de lo normal durante los meses fríos. Así, cuando ocurren las MHWs y MCSs pueden impactar en la salud de los arrecifes.

En este estudio analizamos la ocurrencia de temperaturas superficiales del mar (SST, por sus siglas en inglés) extremas en el mar Caribe, una región que alberga la segunda barrera arrecifal más grande del mundo. El objetivo fue caracterizar las MHWs y MCSs durante las últimas cuatro décadas (1982–2021) para estudiar su variación estacional, determinar su duración, intensidad y frecuencia típicas, así como explorar si la ocurrencia de estos extremos de temperatura coincide con eventos de blanqueamiento de corales registrados.

18 Utilizando las SST diarias de toda la cuenca del mar Caribe, identificamos las MHWs y MCSs como aquellas temperaturas que se encontraban por encima y por debajo de los percentiles 90 y 10, respectivamente, considerando el promedio temporal de los 40 años y eliminando previamente la tendencia para eliminar el sesgo derivado del calentamiento a largo plazo (Hobday et al., 2016; 2018).

Contamos el número de eventos y calculamos la duración promedio. Además, utilizamos una base de datos global sobre blanqueamiento de corales que abarca de 1980 a 2020 (van Woesik and Kartochwill, 2022), para comparar si este fenómeno coincidía con las MHWs o MCSs identificadas, si fueron particularmente intensas o prolongadas, y exploramos la variabilidad temporal de los eventos de blanqueamiento y su co-ocurrencia con MHWs y MCSs. También evaluamos si la severidad del blanqueamiento se relacionaba con la intensidad o duración de las MHWs o MCSs (Cetina-Heredia and Allende-Arandía, 2023).

Se ha identificado, en promedio, una tendencia positiva significativa de las SST en todo el mar Caribe, con un incremento de  $0.23\text{ }^{\circ}\text{C}$  por década, variando del sureste al noroeste. Las tasas más elevadas de calentamiento se localizan cerca de las Antillas Menores y en la costa norte de Sudamérica (Fig. 1). Las MHWs y MCSs han ocurrido en todo el mar Caribe, y la intensidad, frecuencia y duración promedio de ambas son similares (Fig. 2). Entre 1982 y 2021, eventos individuales de MHW y MCS alcanzaron intensidades máximas de  $5.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $7.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  por encima/debajo del percentil 90/10, respectivamente, y se prolongaron hasta 561 y 497 días (Fig. 3). De los 6,406 registros de blanqueamiento leve, moderado o severo en el Caribe, el 35 % y el 14 % ocurrieron simultáneamente con MHWs y MCSs, respectivamente (Fig. 4). El 51 % restante no coincidió con un evento de temperatura extrema. Se observó que la mayoría de los eventos de blanqueamiento

co-ocurren con MHWs y MCSs que presentan intensidades máximas típicas para el Caribe (es decir, aproximadamente de  $0.73/0.54\text{ }^{\circ}\text{C}$  por encima/debajo del percentil 90/10 para MHWs/MCSs), en lugar de coincidir con los eventos extremos. La mayoría de los eventos de blanqueamiento ocurren aproximadamente 28 y 21 días después del inicio de una MHW o MCS, respectivamente (en algunos casos después de 60 días), y estas duraciones están dentro del rango típico de duración de las MHWs y MCSs en el Caribe. Las MHWs/MCSs que coinciden con un blanqueamiento leve son menos intensas que aquellas que coinciden con un blanqueamiento moderado y/o severo (Fig. 5).

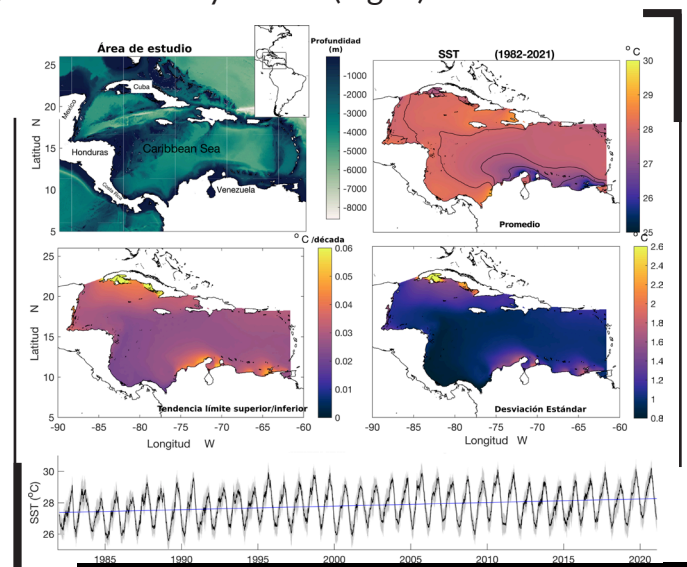


Figura 1. Mapas del mar Caribe que ilustran su batimetría (arriba izquierda), promedio de la temperatura superficial del mar (SST) de 1982-2021 (arriba derecha), tendencia (centro izquierda), desviación estándar (centro derecha) y la serie de tiempo del promedio espacial de la SST (línea negra), su desviación estándar (sombra gris) y la tendencia (línea azul) en el mar Caribe.

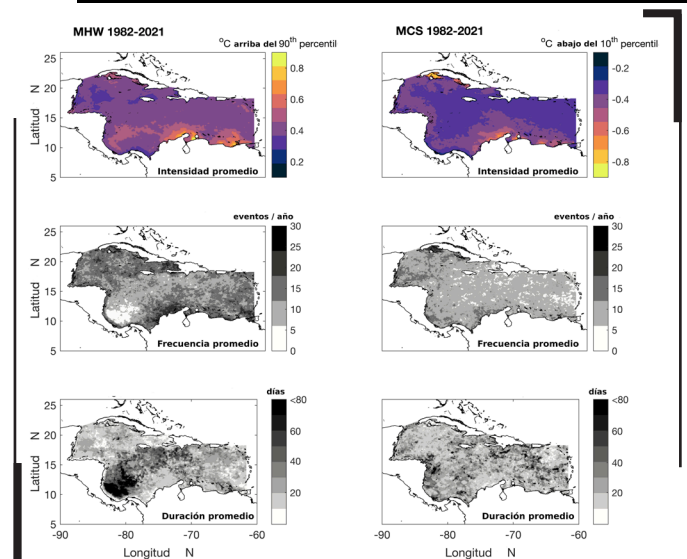


Figura 2. Mapas que representan los promedios anuales de intensidad media (fila superior), frecuencia media en número de eventos por año (centro) y duración media (fila inferior) de las ondas de calor marinas (columna izquierda) y los eventos fríos marinos (columna derecha).

Figura 3. Climatología de la temperatura superficial del mar: promedio del Caribe, percentiles 10 y 90 (fila superior). Climatología de la intensidad de las ondas de calor marinas (MHWs) y eventos fríos marinos (MCSs) en el Caribe (centro). Climatología de la frecuencia de las MHWs y los MCSs como número de años con eventos (fila inferior).

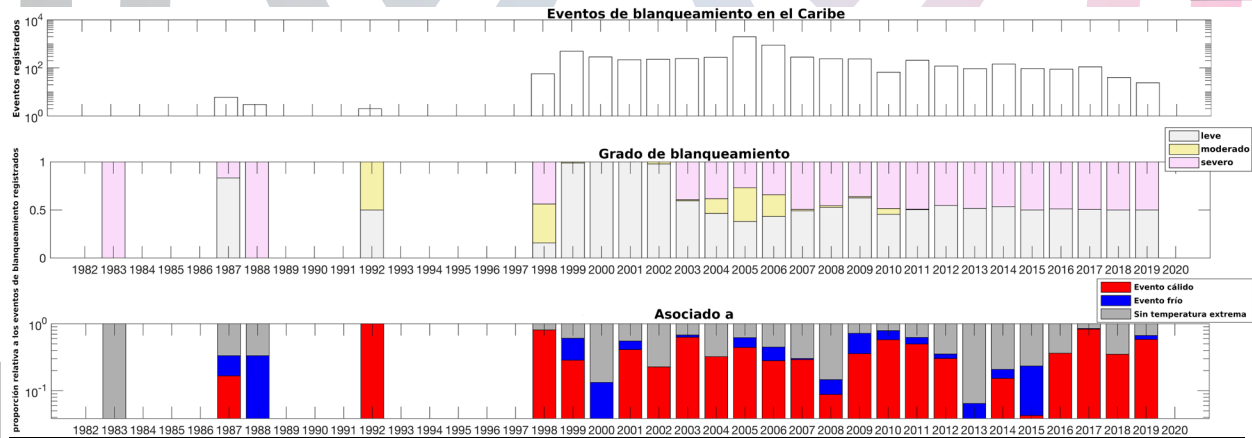
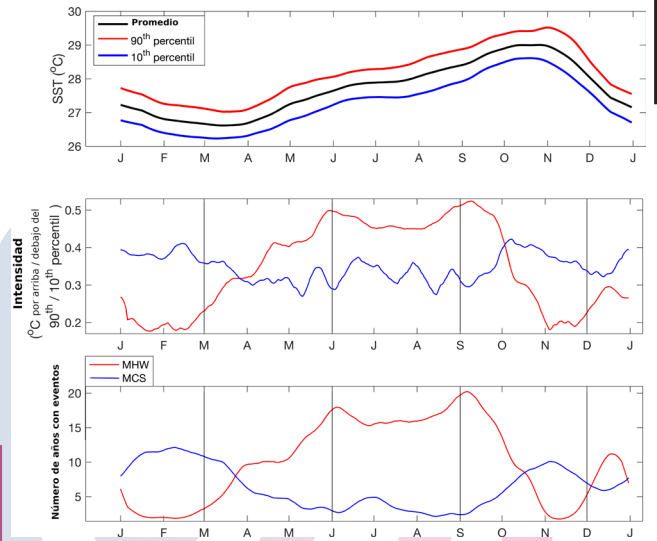


Figura 4. Series de tiempo anuales de: (panel superior) número de eventos de blanqueamiento registrados en el Caribe, (panel medio) porcentaje normalizado de blanqueamiento leve, moderado y severo, y (panel inferior) porcentaje normalizado de blanqueamiento simultáneo con ondas de calor marinas (rojo), eventos fríos marinos (azul) o sin evento de temperatura extrema (gris).

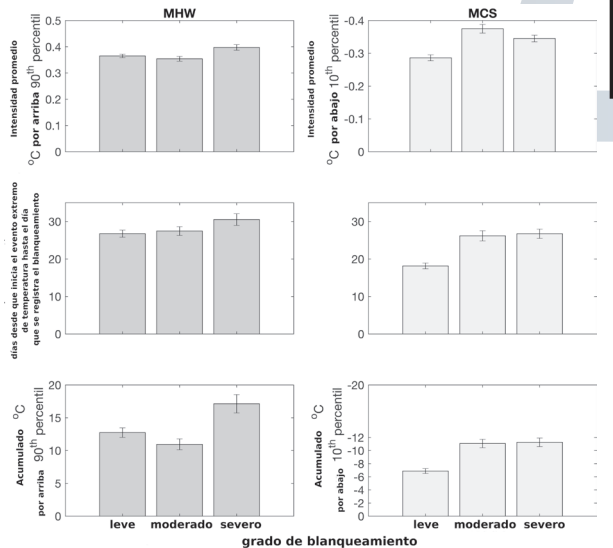


Figura 5. Compuestos de las características de las ondas de calor marinas (columna izquierda) y eventos fríos marinos (columna derecha) promediadas según eventos de blanqueamiento leve, moderado y severo. Panel superior: intensidad máxima desde el inicio del evento de temperatura extrema hasta la fecha del blanqueamiento, panel medio: número de días desde el inicio del evento de temperatura extrema hasta la fecha del blanqueamiento, y panel inferior: grados acumulados por encima/debajo del percentil 90/10 desde el inicio del evento de temperatura extrema hasta la fecha del blanqueamiento.

## Referencias bibliográficas

---

Brown, B. E., Dunne, R. P., Ambarsari, I., Le Tissier, M. D. A., and Satapoomin, U. (1999). Seasonal fluctuations in environmental factors and variations in symbiotic algae and chlorophyll pigments in four Indo-Pacific coral species. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 191. doi: 10.3354/meps191053.

Bruno, J. F., Selig, E. R., Casey, K. S., Page, C. A., Willis, B. L., Harvell, C. D., et al. (2007). Thermal stress and coral cover as drivers of coral disease outbreaks. *PLoS Biol.* 5. doi: 10.1371/journal.pbio.0050124.

P. Cetina-Heredia & M.E. Allende-Arandía. (2023). "Caribbean marine heatwaves, marine cold spells, and co-occurrence of bleaching events". *JGR Oceans*, e2023JC020147. <https://doi.org/10.1029/2023JC020147>.

Hobday, A. J., Oliver, E. C. J., Gupta, A. Sen, Benthuyesen, J. A., Burrows, M. T., Donat, M. G., et al. (2018). Categorizing and naming marine heatwaves. *Oceanography* 31. doi: 10.5670/oceanog.2018.205.

Hobday, A. J., Alexander, L. V., Perkins, S. E., Smale, D. A., Straub, S. C., Oliver, E. C. J., et al. (2016). A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Prog. Oceanogr.* 141. doi: 10.1016/j.pocean.2015.12.014.

Holbrook, N. J., Scannell, H. A., Sen Gupta, A., Benthuyesen, J. A., Feng, M., Oliver, E. C. J., et al. (2019). A global assessment of marine heatwaves and their drivers. *Nat. Commun.* 10. doi: 10.1038/s41467-019-10206-z.

Jacox, M.G., Alexander, M.A., Amaya, D. et al. (2022). Global seasonal forecasts of marine heatwaves. *Nature* 604, 486–490.

Lirman, D., Schopmeyer, S., Manzello, D., Gramer, L. J., Precht, W. F., Muller-Karger, F., et al. (2011). Severe 2010 cold-water event caused unprecedented mortality to corals of the Florida reef tract and reversed previous survivorship patterns. *PLoS One* 6. doi: 10.1371/journal.pone.0023047.

van Woesik, R., and Kratochwill, C. (2022). A global coral-bleaching database, 1980–2020. *Sci. Data* 9. doi: 10.1038/s41597-022-01121-y.



# El aprendizaje basado en la IA

**Autores:**

Dr. Luis Alberto García Domínguez

Dra. Ivonne Ivette Novelo Helguera,

Mtro. Jorge Casares Méndez

**Correo de contacto:**

luis.gd@merida.tecnm.mx

**Palabras clave:**

Aprendizaje, Inteligencia Artificial

## ¿Por qué importa la IA en la formación de profesionistas?

A partir del inicio de la tercera década del siglo XXI, el uso del concepto de Inteligencia Artificial (IA) se ha difundido de manera acelerada, no solamente en el ámbito científico, sino también en diversos espacios del quehacer humano, tales como el trabajo, la casa y de forma cada vez más visible en la escuela. Con base en ello y en su evolución tecnológica, cada día son más las personas que se interesan y usan esta herramienta en su vida cotidiana.

La IA, de acuerdo con Mata et al. (2024), se define como “la capacidad de las máquinas para realizar tareas que requieren inteligencia humana” (p. 1643), lo que supone un apoyo para las personas en el desarrollo de sus actividades cotidianas, dentro de las cuales se encuentran el aprendizaje y todo lo relacionado con las actividades escolares. En consecuencia, analizar la presencia de la IA en el ámbito educativo, parece una tarea obligada, no solo para investigadores, sino también para otros actores dentro del contexto escolar, como son el profesorado y estudiantes

Particularmente, en el nivel de educación superior, cada vez es más frecuente su

uso, tanto por alumnos como por personal docente, lo que ha generado un intenso debate académico, respecto de su utilidad e implicaciones en relación con el aprendizaje.

## ¿Cómo están usando la IA los estudiantes?

Se discute si el uso de esta herramienta debería estar permitido en las aulas para la realización de tareas sencillas o si únicamente se debería aprovechar para aprendizajes complejos, que le permitan a estudiantes someterse a retos que desafíen sus capacidades y les pongan a prueba ante situaciones que de otra forma sería difícil simular y con la supervisión del personal docente.

Lo cierto es que hoy, cada vez es más común que estudiantes universitarios recurran al uso de la IA para la búsqueda de información, redacción y corrección de textos, traducción de artículos, generación de resúmenes y tutoriales, así como asistentes para la organización de agendas académicas y tareas diversas. En un estudio realizado por García y Crespo (2025), se afirmó que “a través de aplicaciones como el aprendizaje adaptativo, los sistemas de tutoría inteligente y las herramientas de accesibilidad, se puede ofrecer una experiencia educativa más eficiente y centrada en las necesidades individuales de los estudiantes” (p.10).

Este escenario plantea interrogantes relevantes sobre la manera en que dichas prácticas están influyendo en la forma de aprender y en el desarrollo de habilidades cognitivas y metacognitivas, con el desafío de asegurar su integración armónica, en lugar de reemplazar el pensamiento autónomo de las y los estudiantes.

### Impacto potencial en el aprendizaje

Es difícil determinar el impacto que el uso de la IA va a tener en el aprendizaje de estudiantes universitarios. En tanto se siguen desarrollando investigaciones al respecto y la propia IA sigue avanzando, solo es posible suponer algunos beneficios en el corto plazo, tales como la posibilidad de tener un aprendizaje individualizado con retroalimentación inmediata y múltiples explicaciones para contenidos complejos, con las disyuntivas latentes de una dependencia excesiva y la pérdida del pensamiento crítico y de la capacidad de razonamiento, así como el incremento de la brecha entre quienes tienen acceso y quienes no cuentan con esta herramienta.

Conforme avancen las investigaciones será posible conocer los efectos que el uso de esta tecnología tendrá en estudiantes y consecuentemente en los profesionistas del futuro, por lo pronto, es innegable que su uso ha permeado las aulas, y forma parte ya de las actividades de aprendizaje cotidianas en las instituciones de educación superior.

### El dilema ético en el ámbito educativo

Discutir el dilema ético del uso de la IA es uno de los retos más importantes en materia educativa para los próximos años. ¿Hasta dónde es legítimo usarla en tareas y exámenes?

Los puntos de vista son diversos: hay quienes aseguran que no es posible aceptar un trabajo o examen respondido con la IA y quienes sostienen que, si bien el estudiante no resolvió con su propio razonamiento, sí tuvo la habilidad para generar la respuesta con base en una instrucción bien elaborada. También se puede ir más allá y plantear que no habría mucho sentido obligar a estudiantes a que resuelvan “mentalmente”, cuando la respuesta se encuentra a un *prompt* de distancia. Sin embargo, frente a este mismo argumento, algunas personas señalarán que lo importante no es el producto sino el proceso.

A partir de lo anterior, surge la inquietud ¿cómo enseñar a “usar con un criterio ético” en lugar de prohibir? Tal parece que la respuesta debiera partir de las responsabilidades de cada uno de los actores, empezando por las propias instituciones que debieran definir reglas claras y promover un uso responsable de estas herramientas, con base en políticas generadas en espacios de reflexión, con una profunda visión de un futuro en el que el uso de la IA será parte integral, no solo de la vida escolar, sino del contexto social.

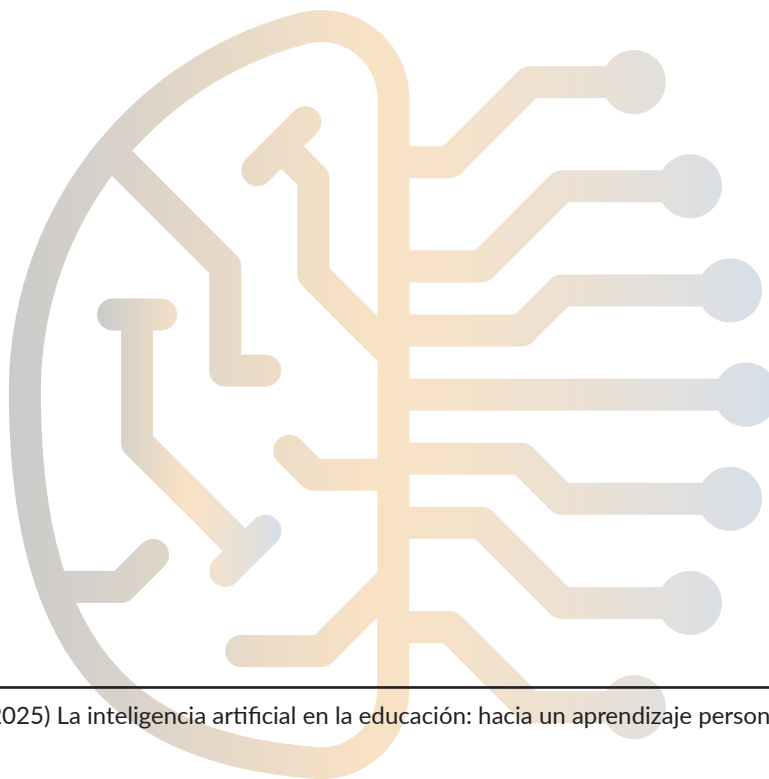
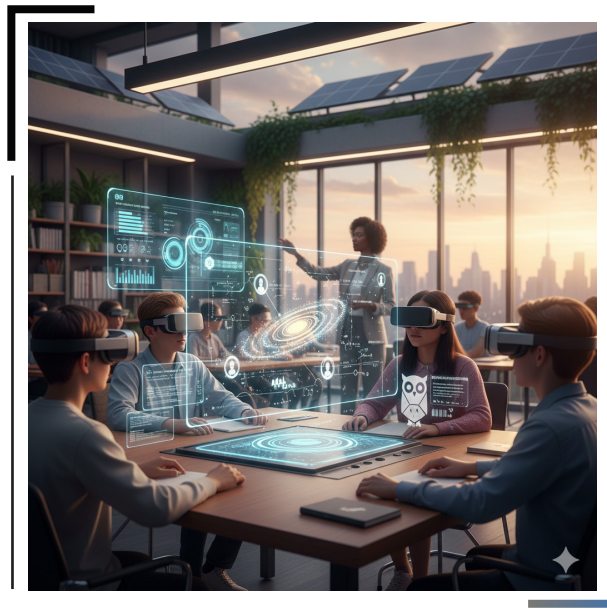


## Hacia una integración crítica y responsable de la IA

Es necesario resaltar que la IA ya forma parte de la rutina escolar de estudiantes y profesores, por lo que es necesario establecer reglas claras respecto de su uso ético y responsable. La IA no sustituye ni al estudiante ni al docente, pero sí transforma la manera en que el primero aprende y el segundo enseña. La clave está en utilizar esta herramienta sin perder la autonomía, la creatividad y la consciencia del aprendizaje, considerando que el reto no es prohibirla, sino integrarla críticamente en las aulas.

La convivencia responsable con la IA exige un cambio en la manera de trabajar, pero también una revisión constante de las normas que se establezcan para su uso conforme al desarrollo de la tecnología, en un marco en el que se privilegie el enriquecimiento de la

enseñanza y el aprendizaje, sin menoscabo de la integridad académica y los valores de cada institución.



## Referencias

García, M. y Crespo, J. (2025) La inteligencia artificial en la educación: hacia un aprendizaje personalizado. RIIED, número 9, 1-13.

Mata, K., Sâncan V., y Kaiser R. (2024) Una revisión sistemática del uso de la inteligencia artificial en el desarrollo de investigaciones científicas. Reincisol, 3(6), pp. 1642-1660. científicas. Reincisol, 3(6), pp. 1642-1660. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)1642-1660](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)1642-1660)

\*Figuras ilustrativas generadas con Gemini/Google (diciembre 15, 2025).

# Modelos inteligentes, costos ambientales: el impacto oculto del CO<sub>2</sub> en la IA moderna

## Autores:

Giovanni R. Soriano Pacheco, Suny Ricarte Ramírez Pérez, César Antonio Pinto May

## Correo de contacto:

2309210@upy.edu.mx

2409195@upy.edu.mx

## Palabras clave:

Inteligencia Artificial, Sostenibilidad digital, Huella de carbono, LLM, Eficiencia energética.

## La huella invisible de la inferencia

La proliferación de los Modelos de Lenguaje Grande (LLM), como ChatGPT, Gemini o Claude, ha transformado nuestra interacción con la tecnología. Sin embargo, esta revolución conlleva un desafío ambiental que a menudo pasa desapercibido: el consumo energético. Si bien la fase de entrenamiento de estos modelos suele acaparar los titulares por su demanda de recursos, investigaciones recientes destacan que la fase de inferencia, el proceso mediante el cual el modelo ya entrenado genera respuestas a millones de usuarios diariamente, está ganando un peso ambiental crítico.

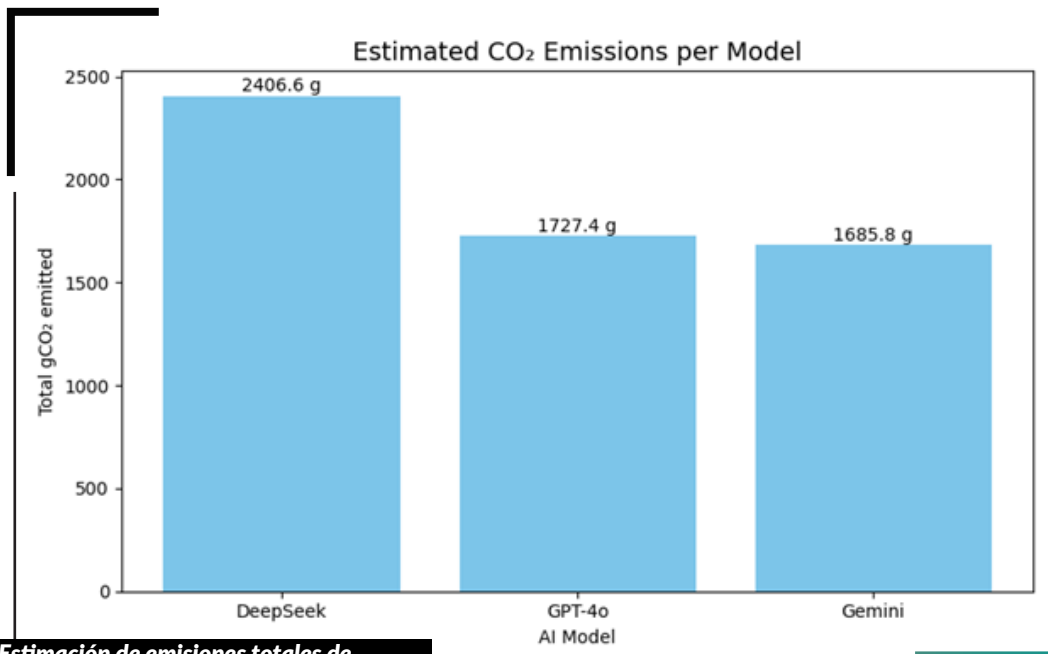
Se estima que las tareas de Inteligencia Artificial Generativa (IAG) pueden consumir significativamente más energía que las búsquedas web convencionales. Una sola instrucción compleja en un servicio de chat puede emitir más de 4 gramos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), una cifra veinte veces superior a la de una consulta estándar en un motor de búsqueda. Este impacto ambiental es un costo oculto que las evaluaciones tecnológicas actuales, como el AI Safety Index, apenas empiezan a considerar.

Desde la Universidad Politécnica de Yucatán (UPY), desarrollamos una investigación para responder una interrogante clave: ¿Cómo influye la arquitectura del modelo y la formulación de nuestras *prompts* en el consumo real de energía?

## Midiendo la “conciencia” de la máquina

El equipo de investigación diseñó un estudio comparativo (*benchmarking*) utilizando cuatro de los modelos más avanzados del mercado: Gemini 2.5, Claude Sonnet 4, GPT-4o y DeepSeek. El núcleo operativo, financiero y ambiental de estos modelos reside en los *tokens*, las unidades básicas de texto que la IA procesa.

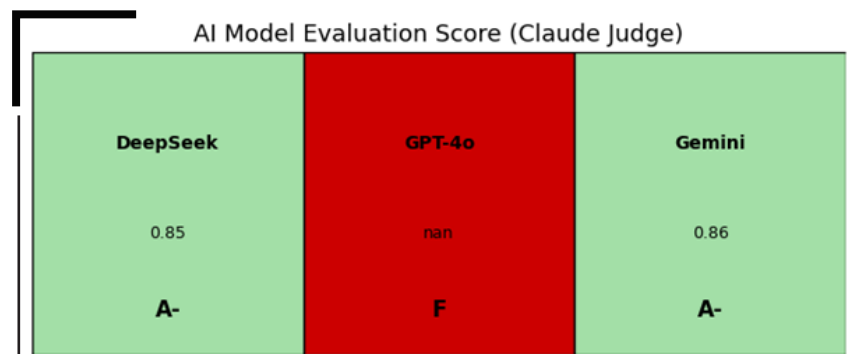
Basándonos en metodologías de estimación de huella de carbono para inferencia, como las propuestas por herramientas tipo *EcoLogits*, evaluamos el desempeño de los modelos. Se aplicaron dos tipos de evaluaciones: una de eficiencia, utilizando 100 *prompts* (instrucciones) que variaban desde *prompts* simples hasta compuestos, y otra de alineación ética y seguridad.



**Gráfica 1. Estimación de emisiones totales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por modelo evaluado.**

El análisis reveló que el modelo DeepSeek generó la mayor huella de carbono (aprox. 2406.60 g) durante las pruebas, seguido por GPT-4o (1727.40 g) y Gemini (1685.80 g).

Aunque modelos como DeepSeek y Gemini obtienen calificaciones altas (Rango A) en la calidad y seguridad de sus respuestas, esta métrica de calidad no refleja necesariamente su eficiencia energética.

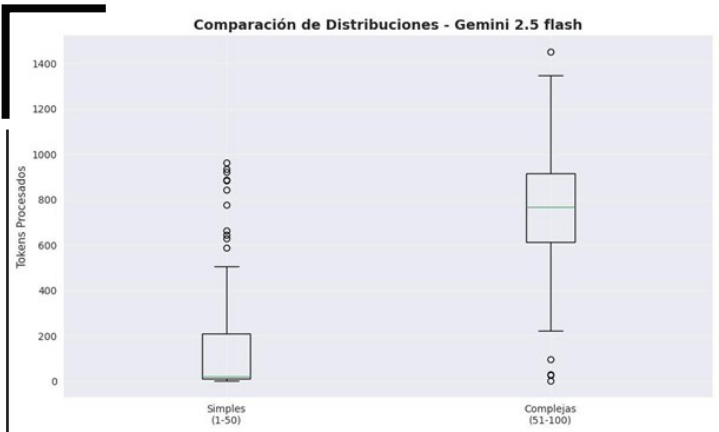


**Gráfica 2. Matriz de evaluación de desempeño ético y de seguridad.**

### Resultados: La paradoja de la eficiencia

El análisis de los datos reveló diferencias críticas en cómo cada modelo gestiona sus recursos computacionales frente a la complejidad de los *prompts*. Detectamos que las instrucciones complejas o inespecíficas conducen a un desperdicio cuantificable de recursos.

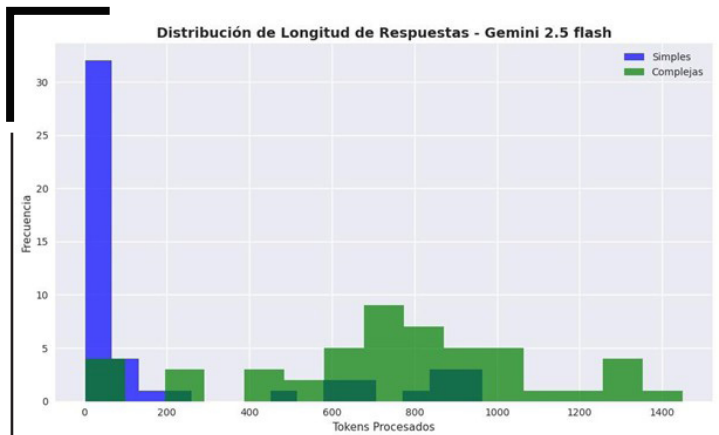
Al analizar el modelo Gemini 2.5, observamos un comportamiento ineficiente: para *prompts* complejos, el modelo disparó su consumo a un promedio de 745.80 tokens, mostrando una variabilidad extrema en la longitud de sus respuestas. Esto contrasta notablemente con su desempeño en tareas simples, evidenciando una falta de optimización en procesos de razonamiento más largos.



Gráfica 3.1. Distribución de tokens por respuesta en Gemini.



Gráfica 3.2. Comparativa de uso de recursos entre prompts simples y complejos.



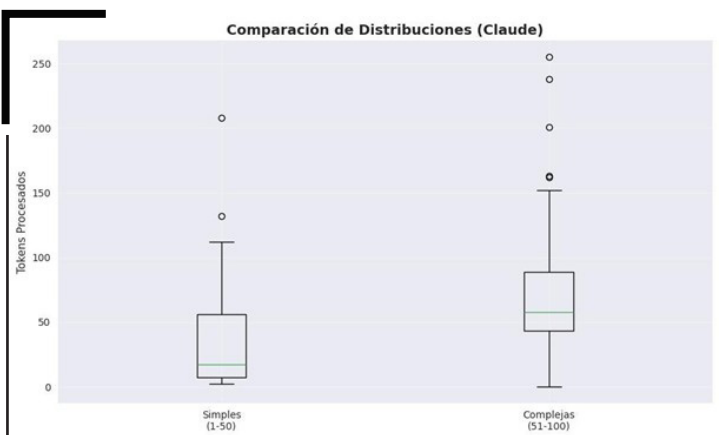
Gráfica 3.3. Frecuencia de longitud de respuestas.



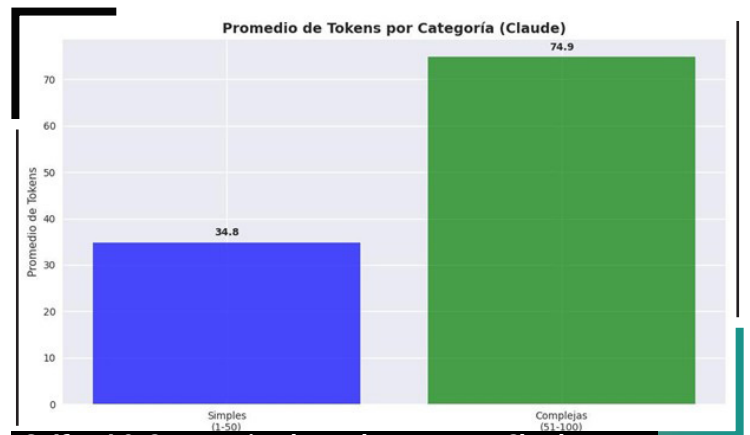
Gráfica 3.4. Análisis detallado de variabilidad en Gemini.

Se observa un salto desproporcionado en el consumo de recursos al pasar de **prompts** simples a complejos, alcanzando un promedio de 745.80 tokens, con una variabilidad extrema.

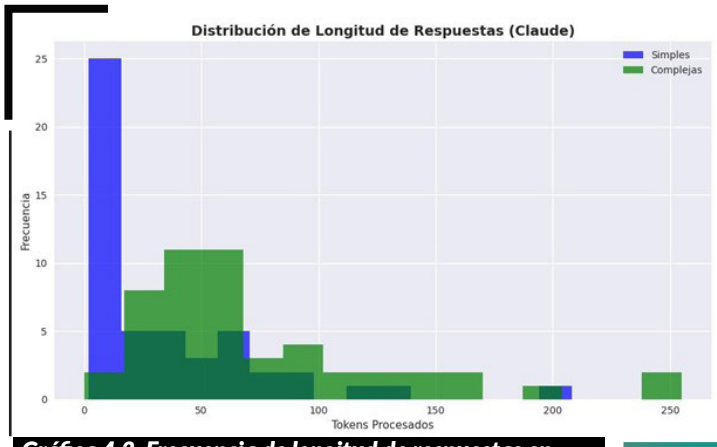
En contraparte, el modelo Claude demostró ser significativamente más conciso. Para las mismas tareas complejas, su promedio fue de apenas 74.90 tokens. Esto significa que, en ciertos contextos, Gemini utilizó casi diez veces más recursos computacionales que Claude para resolver tareas similares, generando una huella de carbono innecesaria por una utilidad comparable.



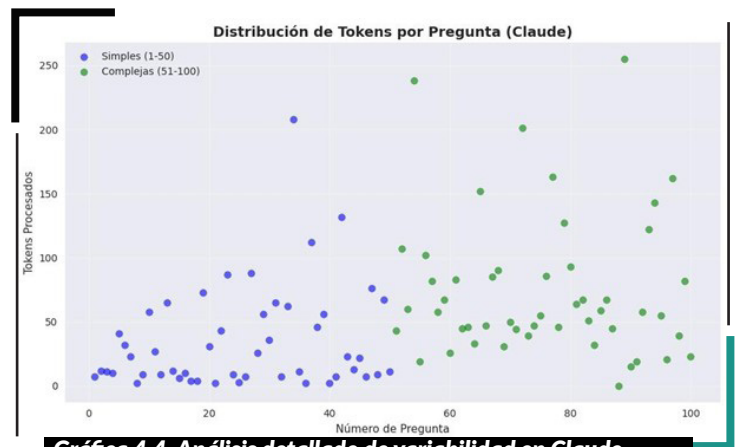
Gráfica 4.1. Distribución de tokens por respuesta en Claude.



Gráfica 4.2. Comparativa de uso de recursos en Claude.



**Gráfica 4.3. Frecuencia de longitud de respuestas en Claude.**



**Gráfica 4.4. Análisis detallado de variabilidad en Claude.**

A diferencia de Gemini, este modelo mantiene un consumo de recursos controlado (barra verde), con un promedio de solo 74.90 tokens para *prompts* complejos.

De manera particular, encontramos un hallazgo notable en la “autoconciencia” verbal de los modelos. Aunque Gemini fue menos eficiente energéticamente, obtuvo una puntuación más alta (4.76/5) en la dimensión de autoconciencia comparado con Claude. Al preguntarle sobre su impacto ambiental, Gemini reconoció explícitamente ser “parte de modelos de gran tamaño”. Paradójicamente, lo hizo generando explicaciones técnicas tan extensas que consumió más energía para explicar cómo ahorrarla.

### Conclusiones: Hacia una IA sostenible

Esta investigación subraya una premisa fundamental para la gestión tecnológica: lo que no se mide, no se puede optimizar. La eficiencia en la comunicación con la IA, conocida como *Prompt Engineering*, no es solo una cuestión técnica para obtener respuestas rápidas, sino una responsabilidad ambiental. Un *prompt* mal diseñado en un modelo ineficiente desperdicia recursos invisibles pero reales, incrementando las emisiones de CO<sub>2</sub> en la fase de inferencia.

Los resultados obtenidos apuntan a que el desarrollo tecnológico en Yucatán y México debe integrar la variable de sostenibilidad en el uso de estas herramientas. Es necesario diseñar mejor nuestros *prompts* para optimizar la relación costo-beneficio y reducir la contaminación. Al final, la inteligencia más valiosa sigue siendo la humana, capaz de decidir cuándo y cómo utilizar estas herramientas para minimizar nuestra huella en el planeta.

### Referencias

1. Mallet, P. E. (2025). When every question counts: measuring the environmental impact of LLMs in use. Medium.
2. Future of Life Institute. (2025). AI Safety Index.
3. Wu, Y., Hua, I., & Ding, Y. (2025). Unveiling Environmental Impacts of Large Language Model Serving: A Functional Unit View. arXiv.
4. Syed, Z. (2024). Certain AI Prompts Generate 50x More CO<sub>2</sub> Than Others. Popular Science.

# Las bacterias como aliadas de la acuicultura

## Autores:

Karen Rodríguez-Gamiño, Grecia Montalvo-Fernández, Joanna M. Ortiz-Alcantara, Claudia Verónica Durruty-Lagunes, María Leticia Arena-Ortiz

## Correo de contacto:

leticia.arena@ciencias.unam.mx

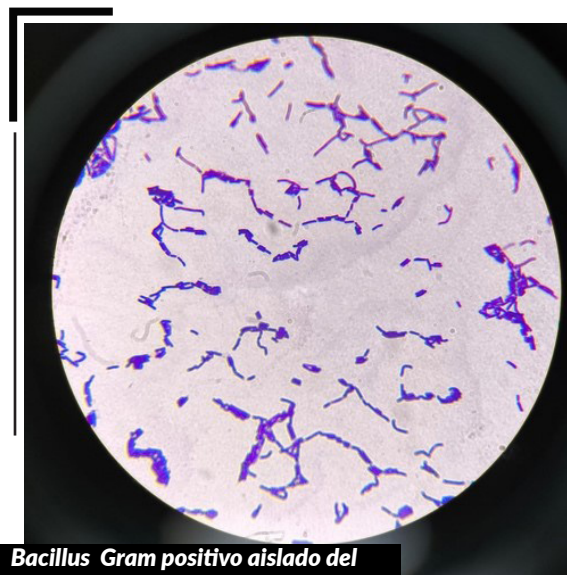
## Palabras clave:

acuicultura, bioremediación, bacterias, digestión, probióticos

Los microorganismos son organismos unicelulares (bacterias, microalgas, plancton, arqueas y hongos) pero en esta oportunidad nos enfocaremos en las bacterias. Las bacterias son fundamentales para la vida en el planeta, la evidencia más antigua gracias a los registros fósiles, se remonta hasta aproximadamente 3,500 millones de años. Son vitales, por el papel fundamental que juegan en las redes tróficas y para el funcionamiento de los ecosistemas. Algunas especies pueden vivir en condiciones realmente extremas de temperatura y presión, incluso pueden vivir dentro de otros organismos tanto terrestres como acuáticos.

## ¿Buenas o malas?

Muchas veces las bacterias son clasificadas como “las malas del cuento” porque algunas son causantes de enfermedades. En el caso de organismos acuáticos, las bacterias del género *Vibrio* pueden causar una enfermedad llamada vibriosis, que afecta la cría en cautiverio de muchas especies comerciales (Nayak, 2010). Además, pueden causar infecciones en heridas, que podrían ser mortales. Sin embargo, existen otras bacterias que ayudan al funcionamiento del organismo en cuanto a su digestión, absorción de alimentos y estimulación del sistema inmune (Panigrahi y Azah, 2007).



**Bacillus Gram positivo aislado del intestino del Mero rojo.**

## ¿Dónde están y qué hacen?

En especies acuáticas, las bacterias pueden encontrarse asociadas a la piel, branquias y tracto gastrointestinal. Habitan de forma estable e interactúan entre sí. También pueden encontrarse en el agua donde pueden cumplir varias funciones. Es por esto que su aporte puede verse enfocado al organismo hospedero o al entorno donde éstas se encuentran. ¡Acompáñame a conocer más sobre las funciones de las bacterias!

### Importancia para el organismo hospedero

Últimamente, se ha puesto muy de moda el término “probiótico” que se refiere a bacterias beneficiosas que contribuyen a la salud, el desempeño productivo y el crecimiento de los hospederos (Kuebutornye et al., 2019).

#### Probióticos

Los probióticos son una mezcla formulada de microorganismos que resultan benéficos para la salud intestinal del hospedero. Ayudan al crecimiento y la supervivencia en la fase larvaria de los peces. Para que un microorganismo sea considerado probiótico debe tener estas características: (i) no dañar al huésped; (ii) ser aceptado por el huésped a través de la ingestión, colonización y posterior reproducción dentro del mismo; (iii) capacidad de llegar a los órganos donde ejercerá su beneficio; y (iv) no ofrecer resistencia antibacteriana (Kuebutornye et al., 2019). El género *Bacillus* se ha convertido en un probiótico usado en humanos, en productos de origen animal y en la acuicultura. porque mejora de ingesta en los hospederos, la respuesta inmune, la resistencia a enfermedades y tiene la capacidad de sintetizar enzimas digestivas (Günther y Jiménez, 2004)



Colonia de *Micrococcus* aislado en vivo del intestino del Mero rojo *Epinephelus morio*.

### Inmunoestimulantes

Otra de las aplicaciones de las bacterias en la acuicultura es como inmunoestimulantes, ya que son capaces de sintetizar sustancias antimicrobianas. Algunos de estos compuestos antimicrobianos son: antibióticos, peróxido de hidrógeno y enzimas bacteriolíticas como las proteasas, amilasas. Algunos compuestos bacterianos como el glucano, mejoran la respuesta inmune a las enfermedades del hospedero (Merrifield y Rodiles, 2015).

### Importancia para mejorar la calidad del agua

La calidad del agua es uno de los parámetros importantes para lograr el éxito en acuicultura. El agua en los estanques es un sistema de poca recirculación, por lo que tiende a contaminarse con los desechos de la alimentación y heces fecales. Esto provoca el incremento de amonio en el agua y la disminución de la concentración de oxígeno. Las bacterias mejoran la calidad del agua mediante dos procesos: la nitrificación y la biorremediación.

#### Nitrificación

La nitrificación ayuda a reducir el amonio en los estanques, es la oxidación biológica de amonio, para producir nitrito, seguida por la oxidación de esos nitritos a nitratos. En estos procesos intervienen las bacterias *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* aumentando el contenido de nitratos en el cuerpo de agua.

#### Biorremediación

La biorremediación es una herramienta prometedora para el tratamiento in situ de las aguas residuales y los sedimentos contaminados. Las bacterias probióticas ayudan a degradar residuos indeseables como el amoníaco, el nitrito, y el sulfuro de hidrógeno y de esta manera mejoran la calidad del agua. Algunos de los grupos que han sido muy utilizados para la biorremediación son: *Bacillus* sp., *Paracoccus* sp y *Thiobacillus* sp.

## Importancia para la industria acuícola

### *Reguladores de carga bacteriana*

La comercialización de los productos de la acuicultura muchas veces se ve comprometida por problemas de contaminación durante el almacenamiento. En este sentido, los microorganismos desempeñan un papel importante para evitar la proliferación de patógenos en los alimentos y que sea seguro su consumo. Cuando ciertas bacterias se administran en cantidades adecuadas, éstas compiten con bacterias patogénicas como *Aeromonas*, *Pseudomonas* y *Enterococcus* y regulan su proliferación. Controlando las bacterias patogénicas se logra que los alimentos sean más seguros para el consumo humano.



**Enterococcus aislado del intestino en vivo del Mero Rojo sensible a antibiótico.**

## Consideraciones finales

Hay una tendencia a considerar a las bacterias como las que ocasionan un impacto negativo en la acuicultura; sin embargo, el empleo de bacterias probióticas en el alimento de los peces ha resultado ser de gran utilidad en esta actividad por las ventajas que ofrece en la supervivencia de larvas, el crecimiento, y la estimulación del sistema inmune. Además, ayudan al mantenimiento de la calidad del agua. Podemos concluir que, hablando del impacto que tienen las bacterias en la acuicultura “no todo es tan bueno, ni tan malo, solo depende de los ojos con los que se mira”.

## Referencias

- Günther, J. y Jiménez-Montealegre, R. 2004. Efecto del probiótico *Bacillus subtilis* sobre el crecimiento y alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y langostino (*Macrobrachium rosenbergii*) en laboratorio. *Revista de Biología Tropical*, núm. 4, pp. 937-943.
- Kuebutornye, F. K. A., Abarike, E. D., Yishan, L. 2019. A review on the application of *Bacillus* as probiotics in aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*, núm. 87, pp. 820-828.
- Merrifield, D. L., Rodiles, A. 2015. The fish microbiome and its interactions with mucosal tissues. En: *Mucosal health in aquaculture*. Academic Press. pp. 273-295.
- Nayak, S. K. 2010. Role of gastrointestinal microbiota in fish. *Aquaculture Research*, núm. 41, pp. 1553-1573.
- Panigrahi, A., Azad, I. S. 2007. Microbial intervention for better fish health in aquaculture: the Indian scenario. *Fish Physiology and Biochemistry*, núm. 33, pp. 429-440.

# Impresión 3D de componentes robóticos: Materiales avanzados y aplicaciones

**Autores:**

Elmer Ahiezer, Yah Chan, Didier

René Moreno Vázquez, Soledad

Cecilia Pech Cohuo

**Correo de contacto:**

soledad.pech@upy.edu.mx

**Palabras clave:**

Impresión 3D, materiales ligeros, robótica blanda

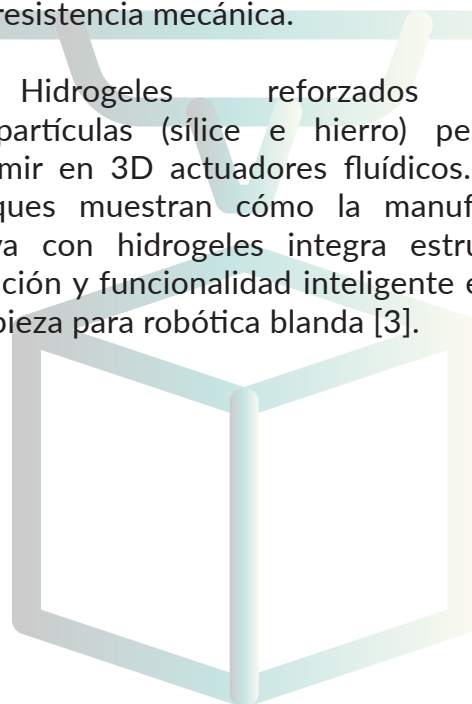
El campo de la robótica ha experimentado una importante transformación con la llegada de la impresión 3D o también conocida como manufactura aditiva (MA). Esta tecnología permite fabricar piezas robóticas ligeras, duraderas y altamente personalizadas utilizando materiales avanzados como compuestos de fibra de carbono, aleaciones con memoria de forma y polímeros de alto rendimiento [1]. A diferencia de la manufactura tradicional, la impresión 3D permite elaborar geometrías complejas que mejoran la funcionalidad robótica, desde la automatización industrial hasta las aplicaciones biomédicas. Y con el uso de materiales poliméricos, empodera a la ingeniería y a los diseñadores para pasar de los diseños digitales hacia los prototipos tangibles [2]. Por lo anterior, el uso de materiales ha ido de la mano con esta tecnología, por lo que ahora se revisará algunos de ellos que se usan para su aplicación en componentes robóticos.

## Materiales poliméricos para el desarrollo de componentes robóticos con impresión en 3D

Los materiales disponibles para impresión 3D son tan diversos, así como las tecnologías y los resultados que se obtienen del proceso.

La libertad del diseño permite que en la manufactura se determine la forma, la textura, y la resistencia de un producto. Sin embargo, estos parámetros pueden variar con el material. Existen varias formas de clasificar los materiales utilizados, se mencionarán algunos de los materiales más importantes.

- Materiales termofijos fotosensitivos (resinas) algunos reforzados con partículas. Se usan para aplicaciones industriales, como materiales para dentaduras biocompatibles, formulados para soportar pruebas exhaustivas y de resistencia mecánica.
- Hidrogeles reforzados con nanopartículas (sílice e hierro) permiten imprimir en 3D actuadores fluidicos. Estos enfoques muestran cómo la manufactura aditiva con hidrogeles integra estructura, actuación y funcionalidad inteligente en una sola pieza para robótica blanda [3].



• Polímeros amorfos y semicristalinos son la categoría principal para el procesamiento por extrusión en la manufactura aditiva que se llama modelado por deposición fundida. Los materiales comúnmente usados son:

- Poli (ácido láctico) (PLA, por sus siglas en inglés), es un material fácilmente disponible y de bajo costo.

- Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS, por sus siglas en inglés), material de bajo costo para partes resistentes y durables.

- TPU o TPE (poliuretano y elastómero termoplásticos respectivamente), conocidos por su elasticidad.

- Polietilen tereftalato glicol (PETG, por sus siglas en inglés), de fácil impresión, superficie lisa final, y resistencia al agua.

- Policarbonato (PC), resistente, durable y altamente resistente a las temperaturas y a los impactos.

- Polipropileno (PP), para aplicaciones de baja resistencia por su resistencia a la fatiga, semi-flexible, y peso ligero.

- Materiales Compuestos: proporcionan propiedades como brillo en la oscuridad, magnéticas, conductivas, cambio de color, biodegradable, etc. Materiales como metales, cerámicos, fibra de carbono y fibra de vidrio microparticulado son ejemplos de refuerzos y rellenos.

- Materiales poliméricos de ingeniería, como poli-éter-éter-cetona (Peek, por sus siglas en inglés) y poli-éter imida (PEI), que son filamentos reforzados de grado industrial disponibles con resistencias mecánicas y temperaturas de deflexión térmica muy elevadas.

### Aplicaciones de componentes robóticos impresos en 3D

A continuación, se explicarán algunas aplicaciones para la impresión 3D en el área de robótica:

#### 1. Prótesis y exoesqueletos a medida

La evolución tecnológica de la última década ha

permitido avances en campos como la medicina, la robótica, la biónica y la rehabilitación. Los exoesqueletos de rehabilitación son ejemplos de integración multidisciplinaria en el desarrollo de herramientas fisioterapéuticas que han demostrado resultados significativos en pacientes con enfermedades neurológicas. Con ayuda de la impresión 3D, cada pieza puede moldearse al usuario, haciéndola más cómoda y funcional [4]. En la Figura 1a se aprecia el diseño 3D de una prótesis de mano y en la Figura 1b se muestra su interior con la electrónica [5]. En la Figura 2 se presenta una prótesis polimérica reforzada [6].

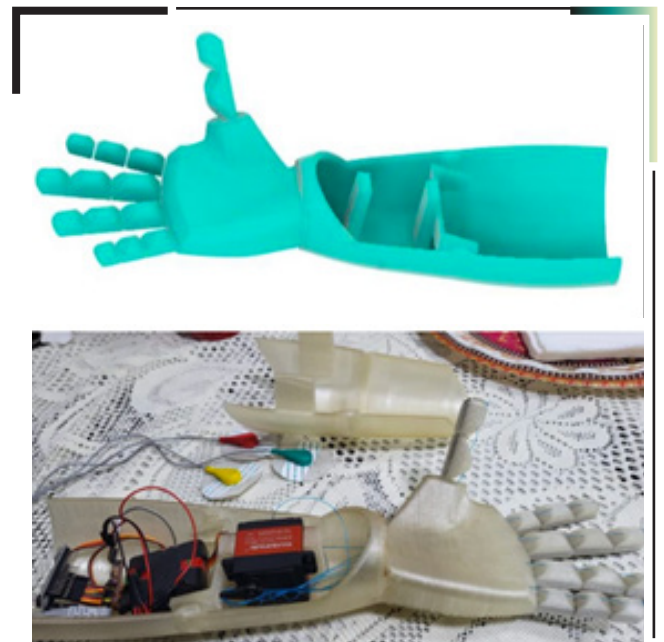


Figura 1. a) Diseño 3D del ensamble parcial de la prótesis. b) Interior de la prótesis impresa con la electrónica

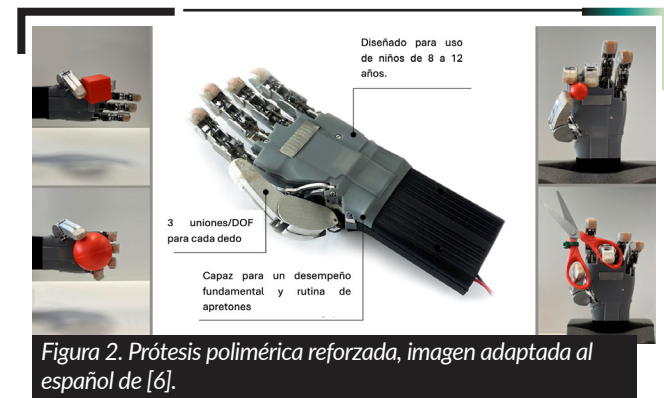


Figura 2. Prótesis polimérica reforzada, imagen adaptada al español de [6].

## 2. Robótica espacial

La NASA (National Aeronautics and Space Administration) y la ESA (European Space Agency) utilizan compuestos poliméricos con titanio y elementos cerámicos impresos en 3D para construir exploradores robóticos resistentes a la radiación para misiones a Marte [7]. Estas agencias emplean sistemas robóticos para explorar otros planetas y objetos del sistema solar como precursores de misiones tripuladas, asistir a los astronautas en la Estación Espacial Internacional y estudiar el universo. Esto incluye sistemas autónomos capaces de operar en entornos dinámicos sin control externo. Además, utilizan impresión 3D para desarrollar robots blandos para exploración espacial [8]. Esta tecnología permite producir objetos personalizados directamente en el lugar de uso, incluso en sitios remotos o con condiciones extremas, como estaciones espaciales (Figura 3) [9].

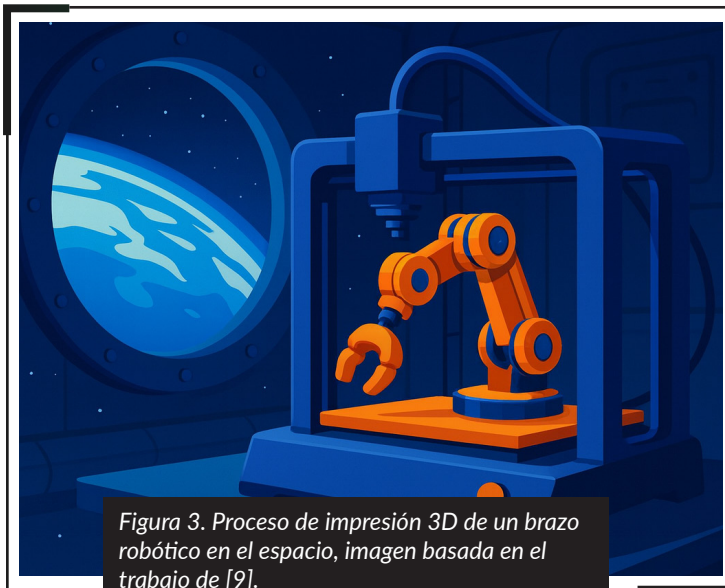


Figura 3. Proceso de impresión 3D de un brazo robótico en el espacio, imagen basada en el trabajo de [9].

## 3. Robótica blanda

La robótica industrial ha permitido realizar una serie de avances en las últimas décadas, en donde una serie de sistemas robóticos rígidos han dominado las líneas de producción automatizadas debido a su precisión, velocidad y capacidad para operar en entornos estructurados. Sin embargo, al momento de manipular objetos frágiles, irregulares o de geometría variable, surge la necesidad de explorar tecnologías emergentes como la robótica blanda [10]. En la Figura 4 se describen los elementos fundamentales en los que se basa la robótica blanda. Dentro de esta rama se han utilizado diversos materiales como elastómeros e hidrogeles, para imprimir en 3D actuadores flexibles que reproducen tentáculos de pulpo o músculos cardíacos, por ejemplo [10].



Figura 4. Elementos fundamentales de la Robótica Blanda, imagen basada en el trabajo de [10].

La integración de la impresión 3D con materiales avanzados representa más que una innovación tecnológica: constituye un cambio de paradigma en el campo de la robótica. Esta combinación posibilita niveles inéditos de personalización, permitiendo desarrollar robots capaces de realizar tareas altamente especializadas con mayor precisión, eficiencia y adaptabilidad, ya sea en prótesis biomédicas ajustadas a la anatomía de cada paciente o en robots diseñados para soportar condiciones extremas en misiones espaciales. La manufactura aditiva supera muchas de las limitaciones de los métodos de producción tradicionales, ampliando el alcance del diseño y la fabricación de sistemas robóticos. Además, la integración de la inteligencia artificial eleva este avance a un nivel superior (Figura 5). La IA optimiza diseños y procesos, e introduce control de calidad automatizado, adaptaciones en tiempo real y una capacidad de ajuste personalizada. Gracias a esta convergencia tecnológica, surgen nuevas oportunidades en sectores como el automotriz, el médico y el aeroespacial, donde la fabricación rápida, adaptable e inteligente resulta clave para la innovación futura [9].

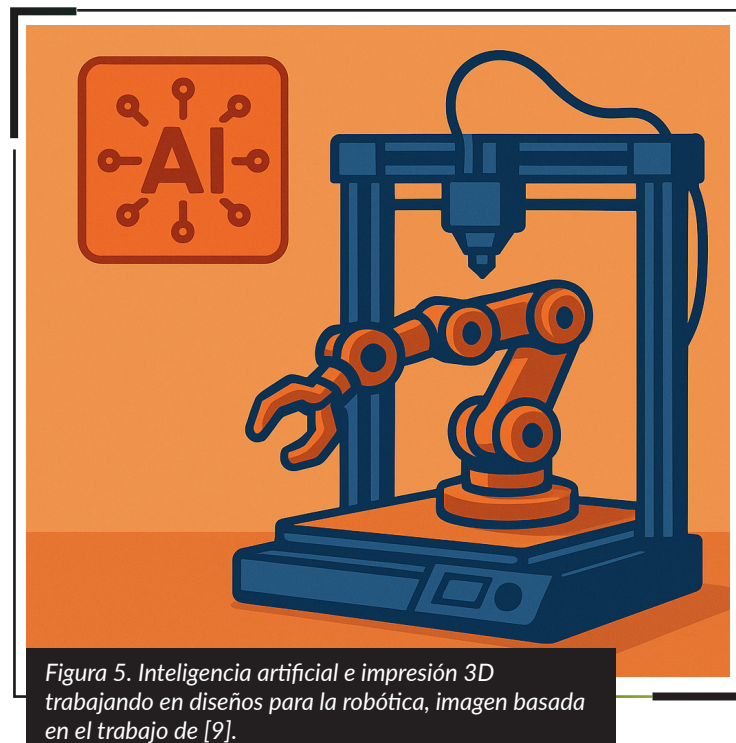


Figura 5. Inteligencia artificial e impresión 3D trabajando en diseños para la robótica, imagen basada en el trabajo de [9].

## Referencias

- [1] I. Gibson et al., Additive manufacturing technologies. Springer, 2021.
- [2] A. Mahmood, F. Perveen, S. Chen, T. Akram, and A. Irfan, "Polymer composites in 3D/4D printing: materials, advances, and prospects," *Molecules*, vol. 29, no. 2, p. 319, 2024.
- [3] Y. Miao, X. Liu, S. Yang, and J. Ma, "Fabrication of self-sensing soft robots via multi-material digital light processing 3D printing of hydrogels," *Materials & Design*, p. 114394, 2025.
- [4] J. Rivera Robles, J. Bory Reyes, L. M. Hernández Simón, and J. I. E. Palacios Hernández, "Rehabilitation Exoskeletons: a Systematic Literature Review," *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, vol. 45, no. 2, pp. 78-99, 2024.
- [5] C. A. Noriega Morales, "Desarrollo de una prótesis robótica con impresión 3D para optimizar el agarre en amputaciones transradiales en Carabaylo, 2024," *Ingeniero Mecatrónico Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Lima-Perú*, 2024.
- [6] P. Medina-Coello, B. Salvador-Domínguez, F. J. Badesa, J. M. Rodríguez Corral, H. Plastrotmann, and A. Morgado-Estévez, "Anthropomorphic robotic hand prosthesis developed for children," *Biomimetics*, vol. 9, no. 7, p. 401, 2024.
- [7] E. Sacco and S. K. Moon, "Additive manufacturing for space: status and promises," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 105, no. 10, pp. 4123-4146, 2019.
- [8] Y. Zhang, P. Li, J. Quan, L. Li, G. Zhang, and D. Zhou, "Progress, challenges, and prospects of soft robotics for space applications," *Advanced Intelligent Systems*, vol. 5, no. 3, p. 2200071, 2023.
- [9] S. Burgos Fausto, "Impresión 3D en el Futuro de los Robots," *Ciencia Vital*, vol. 3, no. 2, 2025.
- [10] S. A. López-Freire and H. R. Lizarraga-Aguirre, "Implementación de robótica blanda en procesos de ensamblaje automatizados," *Revista Científica Ciencia y Método*, vol. 1, no. 2, pp. 58-71, 2023.

# El ocaso del plástico: cuando lo eterno se fragmenta

**Autores:**

Emilio Pérez-Pacheco, Carlos Rolando Ríos Soberanis

**Correo de contacto:**

emilioperez@modelo.edu.mx

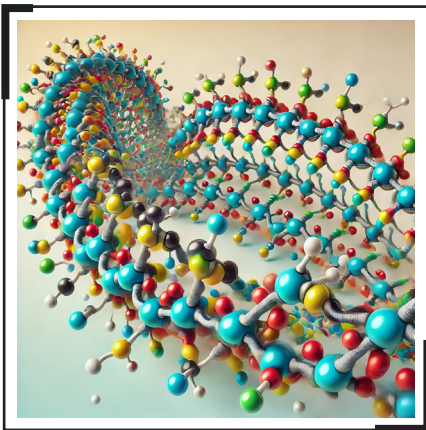
**Palabras clave:** Envejecimiento del plástico, Microplásticos, Radiación ultravioleta (UV), Degradación ambiental

Los plásticos han revolucionado la vida moderna con su ligereza, resistencia y versatilidad. Pero lo que los hace tan útiles también los convierte en un problema ambiental de enormes proporciones. A diferencia de los materiales naturales, que se descomponen rápidamente, los plásticos pueden tardar décadas o incluso siglos en degradarse por completo (Geyer et al., 2017). Y mientras lo hacen, pasan por un proceso de envejecimiento que cambia sus propiedades físicas y químicas. Son diversos los elementos que pueden afectar a estos materiales plásticos; entre ellos se encuentran la exposición al sol, al oxígeno, al agua y a otros agentes ambientales, lo que provoca la ruptura de los enlaces químicos y debilita la estructura del material (Gewert et al., 2015).

Imagina una botella de plástico olvidada en la playa, bajo el sol, soportando la brisa marina y las olas que la golpean día tras día (ver figura 1). Al principio, parece inmutable, casi indestructible. Sin embargo, con el tiempo, disminuye la intensidad de su color, su textura se vuelve quebradiza y, poco a poco, comienza a

fragmentarse en pequeños trozos. Esta escena, que se repite en cualquier rincón del planeta, es la prueba de que los plásticos también envejecen, aunque a un ritmo distinto al de los seres vivos. Para comprender esto, imagina que los plásticos son como una cadena de clips unidos uno tras otro. Al principio, la cadena es fuerte y flexible, puedes doblarla, estirarla un poco y sigue manteniéndose en una sola pieza. Pero ¿qué pasaría si dejas esa cadena al sol durante meses, la mojas con agua de lluvia o la golpeas una y otra vez? Con el tiempo, algunos de esos clips se empezarán a debilitar, a abrirse y, eventualmente, la cadena se dividirá en segmentos más pequeños. Eso mismo les pasa a los plásticos cuando envejecen. Están hechos de algo llamado polímeros, que básicamente son largas cadenas de moléculas unidas entre sí. Al principio estas cadenas son fuertes pero, después de unos meses, algo raro empieza a pasar. El color se vuelve opaco, la superficie se siente áspera y, cuando intentas moverla, notas que ya no es tan flexible. Si pasa más tiempo, incluso puede empezar a romperse con una ligera presión. ¿Qué está pasando?

La respuesta está en la radiación ultravioleta (UV) del sol, un enemigo invisible pero poderoso que ataca sin descanso a los plásticos. Aunque no se nota, cada rayo de sol que cae sobre un objeto de plástico, poco a poco debilita su estructura molecular (Oreski & Wallner, 2005). Es como si el sol estuviera disparando diminutas flechas de energía que golpean las moléculas del plástico, rompiendo los enlaces que las mantiene unidas. Para entenderlo mejor, hay que hablar de los polímeros como largas cadenas de moléculas que forman los plásticos. Estas cadenas son las responsables de que el material sea fuerte, flexible y duradero; Pero la radiación UV actúa como un martillo molecular: va golpeando los enlaces que mantienen unidas las moléculas de estos polímeros una y otra vez hasta que empiezan a romperse y se dividen en cadenas más cortas.



**Figura 2. Representación tridimensional de una molécula de polímero. La imagen muestra una cadena compleja de átomos unidos entre sí, formando la estructura repetitiva de un polímero. Cada esfera de color representa un tipo diferente de átomo, y las varillas simbolizan los enlaces químicos que los conectan. Esta estructura flexible y ramificada es la base de los materiales plásticos, cuya resistencia depende de la integridad de estas largas cadenas moleculares.**

Este envejecimiento no solo afecta la apariencia y funcionalidad del plástico, sino que también tiene consecuencias ambientales graves. A medida que los plásticos se degradan, liberan microplásticos, es decir, pedacitos diminutos de plásticos que, con el paso de los días, los meses o incluso los años se han fraccionado en pedazos cada vez más pequeños.

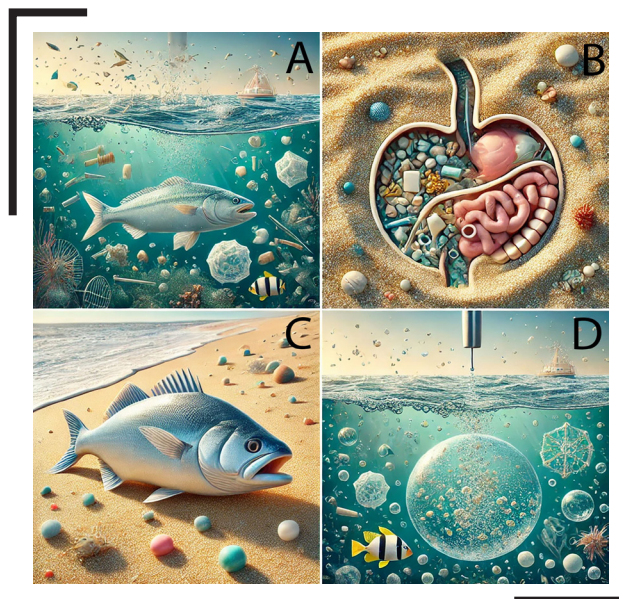


**Figura 1. Botella de plástico abandonada en la orilla del mar, expuesta al sol, la brisa marina y el constante vaivén de las olas. Esta imagen ilustra el inicio del proceso de envejecimiento del plástico, en el que factores ambientales comienzan a deteriorar su estructura física y química, marcando el inicio de su fragmentación en microplásticos.**

Esos pedacitos diminutos que se van soltando se llaman microplásticos. Son tan “pequeños que” a veces no se ven a simple vista. Pero ahí están, flotando en el mar, mezclados con la arena, atrapados entre las raíces de una planta o en el estómago de un pez (Andrady, 2011).

¿Y por qué pasa esto? Porque el sol, la lluvia, el viento, el calor y el tiempo hacen que el plástico pierda fuerza, color y forma. Es como si la naturaleza le fuera dando pequeños golpecitos todos los días hasta que se parte. No se derrite ni se evapora se fragmenta, y cada fragmento que se suelta sigue siendo plástico. Solo que ahora es más pequeño, más difícil de recoger y mucho más peligroso, porque puede viajar por el aire, colarse en el agua, entrar en la cadena alimenticia y terminar en nuestro cuerpo (ver figura 3). Cada pedazo de plástico que no desaparece se multiplica en miniaturas.

Entender cómo y por qué envejecen los plásticos es clave para desarrollar materiales más resistentes y estrategias de reciclaje más efectivas. Al final del día, los plásticos también cuentan su propia historia de desgaste y transformación, y es nuestra responsabilidad decidir qué final queremos escribir (Ren et al., 2023).



**Figura 3. Imagen que representa la presencia y el impacto de los microplásticos en distintos ecosistemas marinos. A: Microplásticos flotando en la superficie del océano, rodeando a peces y organismos marinos. B: Corte transversal de un pez mostrando microplásticos acumulados en su sistema digestivo. C: Microplásticos dispersos sobre la arena de una playa, con un pez varado, sugiriendo contaminación costera. D: Microplásticos observados en una gota de agua a nivel microscópico, revelando su presencia invisible en el ecosistema marino. La composición de la imagen es con fines educativos, detallada y con un enfoque hacia la divulgación sobre la contaminación por plásticos.**

## Referencias

- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8), 1596-1605.
- Gewert, B., Plassmann, M. M., & MacLeod, M. (2015). Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental science: processes & impacts*, 17(9), 1513-1521.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782.
- Oreski, G., & Wallner, G. (2005). Aging mechanisms of polymeric films for PV encapsulation. *Solar energy*, 79(6), 612-617.
- Ren, X., Han, Y., Zhao, H., Zhang, Z., Tsui, T.-H., & Wang, Q. (2023). Elucidating the characteristic of leachates released from microplastics under different aging conditions: Perspectives of dissolved organic carbon fingerprints and nano-plastics. *Water Research*, 233, 119786.

# Patrimonio biocultural y relevo generacional: del gareteo al aula en el Telebachillerato Comunitario de Sisal

## Autores:

Escamilla-Aké Ángel Adrián, Rojo-Cebreros Ángel Humberto, Ponce-Márquez Marco Antonio, Robles-Mendoza Cecilia, Chi-Romero Fátima Selene, Rosas Carlos

## Correo de contacto:

escamilla.asesoria@gmail.com

## Palabras clave:

TBCEY, UMDI, Patrimonio Biocultural, Relevo Generacional, Gareteo

## Introducción

El patrimonio biocultural, entendido como la integración de saberes y prácticas culturales con la biodiversidad local, entrelaza naturaleza y cultura en la vida comunitaria. En el litoral yucateco, la pesca artesanal del pulpo rojo (*Octopus maya*) legalmente establecida, el gareteo (DOF, 2015), trasciende lo técnico: es identidad, memoria y sustento para miles de familias. Esta práctica que consiste en dejar la lancha a la deriva con el viento y ampliar la captura con palos de bambú o jimbas con cordeles y carnada, hoy enfrenta amenazas del cambio climático, la sobreexplotación y el desinterés de las nuevas generaciones. Estudios recientes han mostrado que el aumento de la temperatura del mar puede afectar el desempeño térmico y la aptitud del *O. maya*, comprometiendo la viabilidad de la pesquería en el Banco de Campeche (Escamilla-Aké et al., 2026).

Ante este panorama, las alianzas entre instituciones educativas locales y la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación en Sisal (UMDI-Sisal) de la Facultad de Ciencias

de la Universidad Nacional Autónoma de México resultan estratégicas (Rojo-Cebreros et al., 2025). El Telebachillerato Comunitario del Estado de Yucatán en Sisal (TBCEY-Sisal) se ha consolidado como un espacio clave para fortalecer en los jóvenes la apreciación de su entorno al articular saberes locales y aprendizaje formal (Rojo-Cebreros et al., 2025). En este contexto, durante la 2a edición del curso/taller TBCEY-Sisal en la UMDI-Sisal, realizado en el primer semestre de 2025 con el acompañamiento de su Coordinación de Docencia, se efectuó una actividad participativa para sensibilizar a los estudiantes sobre el patrimonio biocultural y el gareteo, evaluando el cambio en su percepción con cuestionarios aplicados antes (Escamilla-Aké, 2025a) y después (Escamilla-Aké, 2025b) de la actividad.



El presente artículo documenta esta experiencia, mostrando cómo los jóvenes transitaron de percepciones fragmentadas a una comprensión más profunda de la relación entre cultura, mar y comunidad. A partir de cinco ejes comparativos, se evidencia un proceso de reconocimiento y apropiación que apunta al relevo generacional necesario para asegurar el futuro de la pesca artesanal en Yucatán.

### Metodología

La actividad reunió a 16 estudiantes del sexto semestre del TBCEY-Sisal, en una sesión sobre patrimonio biocultural, centrada en la pesca artesanal del *Octopus maya* mediante el gareteo. El ejercicio transmitió conocimientos y fomentó un diálogo intergeneracional que resaltó la importancia de estas prácticas para la identidad y el futuro comunitario.

Para evaluar el impacto de la experiencia, se aplicaron dos cuestionarios anónimos:

**Formulario 1** (antes de la actividad): exploró percepciones iniciales sobre patrimonio, pesca artesanal, riesgos ambientales y posibilidades de participación.

**Formulario 2** (después de la actividad): permitió identificar cambios en la comprensión, valoración y disposición de los estudiantes hacia el patrimonio biocultural y la pesca artesanal.

Las respuestas se codificaron en cinco ejes comparables, definidos a partir de categorías presentes en ambos cuestionarios:

**Concepción de patrimonio:** de la familiaridad superficial con costumbres y saberes a la definición de patrimonio biocultural como vínculo entre naturaleza y cultura.

**Reconocimiento del gareteo:** del conocimiento limitado o nulo hacia la valoración del gareteo como práctica patrimonial.

**Valoración hacia el futuro de la pesca artesanal:** de percepciones vagas a la proyección de la pesca como cultura viva local.

**Conciencia socioecológica:** de una visión centrada en riesgos ambientales hacia una comprensión del equilibrio entre comunidad y naturaleza.

**Disposición a involucrarse:** del interés incierto hacia la intención explícita de participar como aprendices, guías o promotores.

Para cada eje se calculó el porcentaje de estudiantes con respuestas favorables en los Formularios 1 y 2, comparando antes y después de la intervención. Los resultados se muestran en una tabla y un diagrama de radar para visualizar el cambio.

### Resultados

El análisis de los cuestionarios aplicados mostró cambios significativos en cómo los estudiantes del TBCEY-Sisal comprenden y valoran su patrimonio biocultural. Los resultados, expresados como porcentaje de estudiantes, reflejan avances favorables en los cinco ejes evaluados:

Tabla 1

Comparación de percepciones antes y después de la actividad

Eje	Antes (%)	Después (%)
Concepción de patrimonio	56.3	93.8
Reconocimiento del gareteo	62.5	93.8
Valoración hacia el futuro de la pesca artesanal	25.0	56.3
Conciencia socioecológica	43.8	93.8
Disposición a involucrarse	25.0	87.5

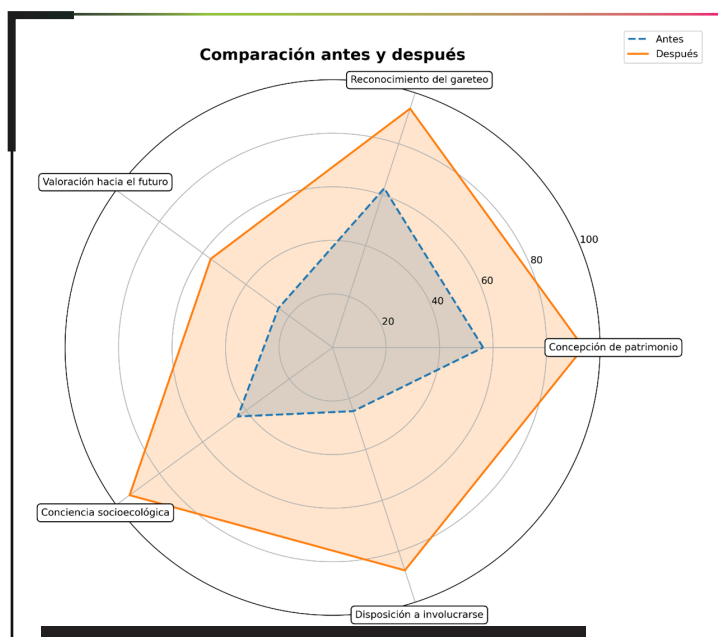
Los resultados evidencian avances significativos: la conceptualización del patrimonio biocultural pasó de 56.3% a 93.8%, el reconocimiento del gareteo como práctica patrimonial de 62.5% a 93.8% y la disposición a participar en actividades de fomento de 25.0% a 87.5%. Asimismo, la conciencia socioecológica transitó de un enfoque de riesgos (43.8%) a una visión integral entre mar, comunidad y sostenibilidad (93.8%). Sin embargo, la pesca artesanal mantiene una valoración limitada entre los jóvenes, con un aumento moderado de 25.0% a 56.3%. Para ilustrar el contraste de percepciones pre y post intervención, se presenta un gráfico de radar:

La Figura 1 muestra cómo la actividad fortaleció la comprensión del patrimonio biocultural, resaltando la importancia del diálogo entre saberes locales y educación.

### Discusión y conclusiones

Los resultados sugieren que la actividad participativa realizada en el TBCEY-Sisal fortaleció el conocimiento de los estudiantes sobre el patrimonio biocultural y su vínculo con el gareteo. El incremento en su comprensión y valoración, consistente en los distintos ejes evaluados, sugiere que no se trató solo de respuestas socialmente aceptables, sino del efecto de un espacio educativo que, al vincularse con la cultura local, integra estos saberes en la identidad juvenil.

La conciencia socioecológica cambió significativamente: de una visión centrada en riesgos a otra que integra naturaleza y cultura. Los estudiantes valoraron la pesca artesanal no solo como actividad económica, sino



**Figura 1. Comparación de percepciones antes y después (gráfico de radar)**

como relación socioecológica esencial para la sostenibilidad, clave ante el cambio climático para fortalecer capacidades comunitarias en defensa de recursos bioculturales.

La disposición a participar en la conservación, documentación y transmisión de saberes aumentó notablemente tras la intervención. Esto plantea la posibilidad de que los estudiantes se conviertan en agentes de relevo generacional, capaces de mantener viva la tradición del gareteo y proyectarla hacia usos sostenibles y educativos.

En conclusión, el aula puede ser un espacio estratégico para rescatar y proyectar el patrimonio biocultural. Impulsar programas de colaboración, como sugieren Rojo-Cebreros y colaboradores (2025), e integrar prácticas como el gareteo preserva saberes, fortalece la comunidad y brinda a los jóvenes herramientas identitarias ante retos socioambientales.

## Referencias

DOF. (2015). NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SAG/PESC-2015, Para ordenar el aprovechamiento de las especies de pulpo en las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5432972](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5432972)

Escamilla-Aké, Á. (2025a). Formulario 1. Pesca, herencia y comunidad: lo que pensamos antes de aprender. [Cuestionario no publicado]. Google Forms. [https://docs.google.com/forms/d/14fillZ4IUxsimAXSCDM71s5eqKdg4m8kRqQg\\_Vr9AG0/edit](https://docs.google.com/forms/d/14fillZ4IUxsimAXSCDM71s5eqKdg4m8kRqQg_Vr9AG0/edit)

Escamilla-Aké, Á. (2025b). Formulario 2. Lo que aprendimos sobre el patrimonio, el mar y nuestro futuro. [Cuestionario no publicado]. Google Forms. [https://docs.google.com/forms/d/1aw7Pp6w1x4Bkh5k-cUkH69D\\_Ah6D0zrmS9TWUxrLVE/edit](https://docs.google.com/forms/d/1aw7Pp6w1x4Bkh5k-cUkH69D_Ah6D0zrmS9TWUxrLVE/edit)

Escamilla-Aké, Á., Angeles-Gonzalez, L., Rojo-Cebreros, Á., Kurczyn, A., & Rosas, C. (2026). Projecting climate change impacts on thermal performance and fitness of *Octopus maya* in the Campeche Bank. *Regional Studies in Marine Science*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2026.104809>

Rojo-Cebreros, Á. H., Chi-Romero, F. S., Escamilla-Aké, Á., Ponce-Márquez, M. A., & Rosas, C. (2025). Percepción de los estudiantes del TBCEY-Sisal sobre los efectos del aumento de la temperatura del mar en la pesca, su seguridad alimentaria y futuro de su comunidad. *Gaceta SIIDETEV*(73), 11-13. <https://yucatan.unam.mx/gaceta-siidetey-numero-73-junio-2025/>





# gaceta

Órgano Oficial de Divulgación del Sistema de Investigación, Innovación  
y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán



**UNIVERSIDAD  
MODELO**



**UPY** BIS  
**UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE YUCATÁN**



**CIMAT**



*Un agradecimiento especial a las instituciones  
participantes en esta edición*



RENACIMIENTO MAYA  
**YUCATÁN**

GOBIERNO DEL ESTADO | 2024 ♦ 2030

**SECIHTI**

SECRETARÍA DE CIENCIA,  
HUMANIDADES, TECNOLOGÍA  
E INNOVACIÓN

Contáctanos: [gaceta.siidetey@gmail.com](mailto:gaceta.siidetey@gmail.com) | [www.siidetey.org](http://www.siidetey.org)

