



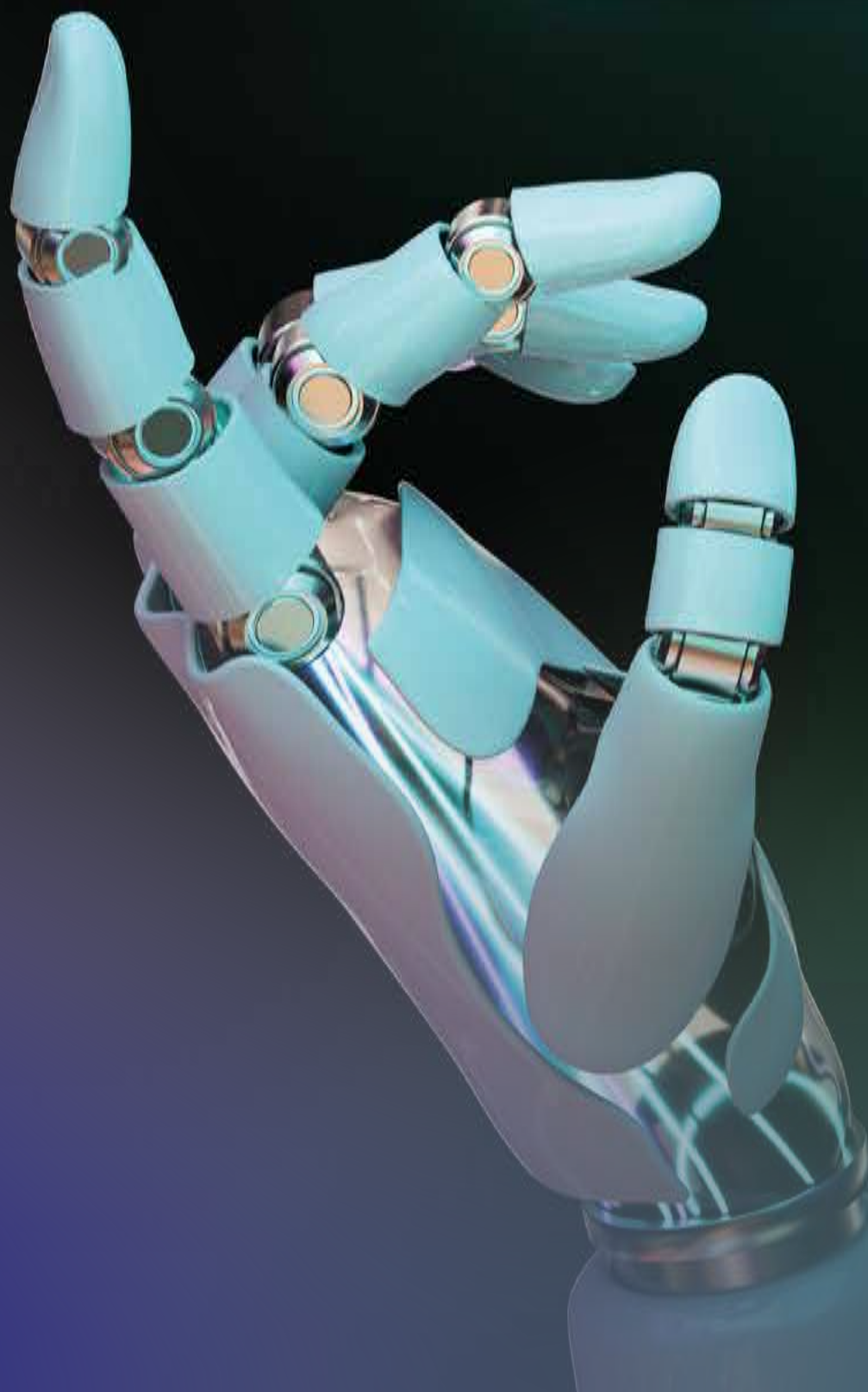
Institución  
**Universitaria**  
Reacreditada en Alta Calidad



Editorial  
**ITM**

# La Tekhné

/// ISSN 2744-8886 /// Edición 2025-1 /// No. 116



**ITM**   
*Somos la*



## PÁGINAS

**06 - 09**

**Editorial. Mucho por hacer**

[Editorial ITM](#)

**10 - 16**

**Del cubo Rubik a la ciberseguridad industrial**

[Edgar Alberto Acevedoarango - Adriana María Echeverri Londoño](#)

**18 - 25**

**Bioseñales contra la depresión**

[Juan Carlos Granada-García - Sebastián Roldán-Vasco](#)

**26 - 35**

**Café con mucílago**

[Juan Pablo Colorado - Jonathan Donado - Paula Andrea Osorio - Maria Elena Maldonado - Sarah Ruth Rothlisberger](#)

**36 - 41**

**¿Algo nos mira?**

[Claudia Betancur-Henao - Robison Buitrago-Sierra](#)

**42 - 48**

**De las algas a la bioingeniería**

[Magdelly Stephanya España Villota - Robison Buitrago-Sierra](#)

**50 - 56**

**Electrodo de disco rotatorio**

[Manuela Agudelo Calderón - Andrés Felipe Vargas Ramírez](#)

**58 - 61**

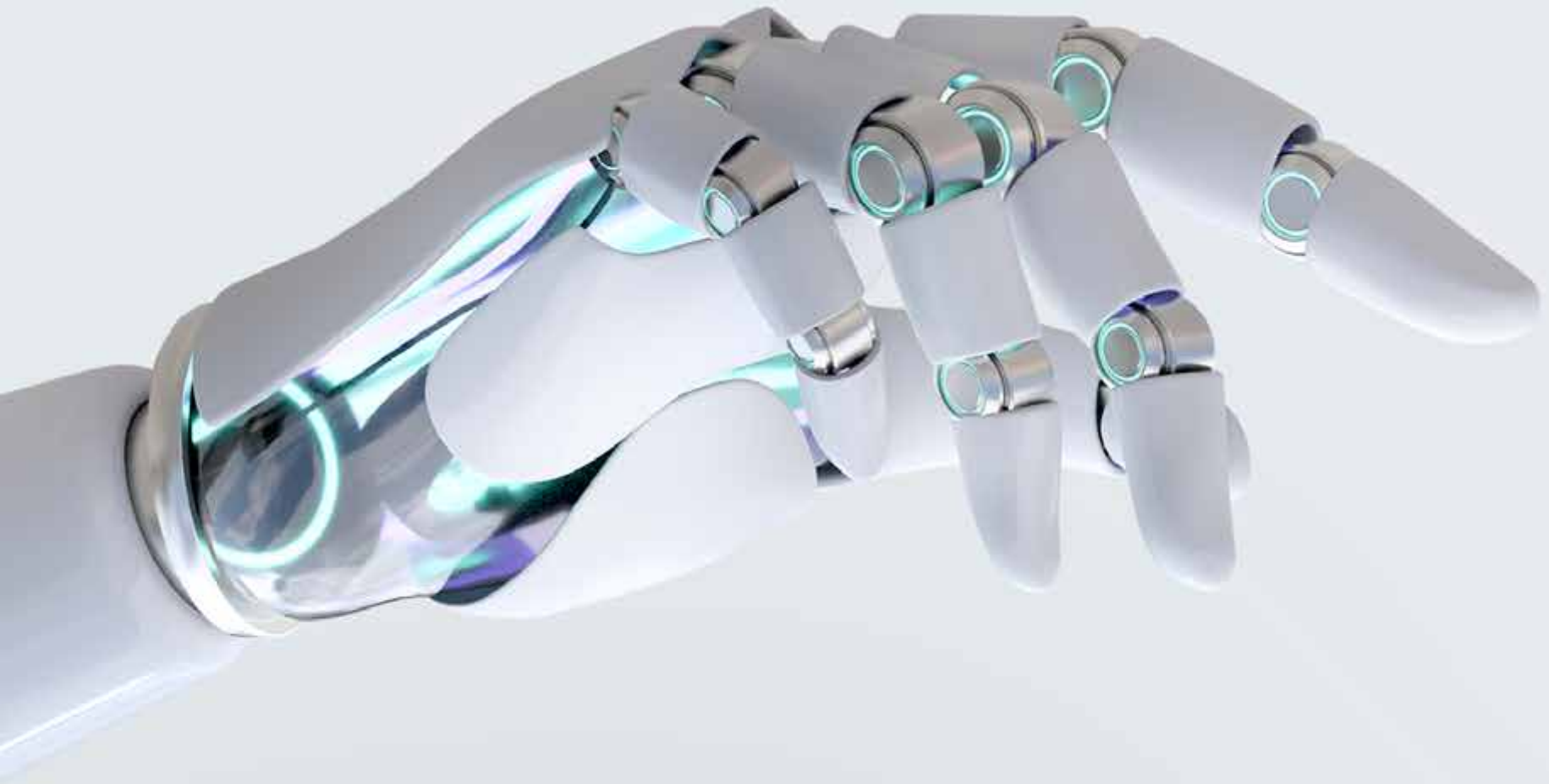
**Una taza de ciencia**

[Paula Andrea Buriticá Macías - Sarah Ruth Rothlisberger Booth](#)

**62 - 67**

**De desecho a energía**

[Jeferson Pinzón Chavarro - Paola Andrea Villegas Bolaños - Omar Darío Gutiérrez Florez](#)



Fuente: Freepik. Licencia libre.



# La Tekhné

## RECTOR

Alejandro Villa Gómez

## VICERRECTOR DE DOCENCIA

Hernán de Jesús Salazar

## VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN

Johnson Garzón Reyes

## COMITÉ EDITORIAL

Mauricio Vanegas Gil  
Director de Biblioteca, Extensión Cultural y Editorial ITM

Clara María Mejía Zea  
Profesional Universitario Editorial ITM

Valeria Puerta Tamayo  
Editor de mesa

## CORRECCIÓN DE ESTILO

Martha Cecilia Caballero Jerez  
Alejandro Vega Carvajal

## DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Manuela Escobar Ortiz  
Mauricio Raigosa Álvarez  
Marcela Londoño Agudelo

## INFORMACIÓN CARÁTULA

Tomada de Freepik. Licencia libre.

## INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ITM

Reacreditada en Alta Calidad,  
adscrita al municipio de Medellín

[www.itm.edu.co](http://www.itm.edu.co)

## Campus:

**Robledo:** Calle 73 N° 76A - 354

**Fraternidad:** Calle 54A N° 30 - 31

**La Floresta:** Calle 47A N° 85 - 20

**Prado:** Carrera 51 N° 58 - 69

**Castilla:** Carrera 65 N° 98A - 75

<https://www.itm.edu.co/la-tekhne/>

**Contacto:** [editorialitm@itm.edu.co](mailto:editorialitm@itm.edu.co)

La Tekhné es el periódico  
institucional del ITM.

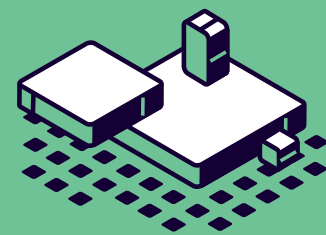
Las opiniones y noticias publicadas en él son responsabilidad exclusiva del autor o autores, haciendo uso de la libertad de expresión que las directivas de la Institución Universitaria otorgan al trabajo de sus estamentos académicos y administrativos.






# Editorial

## Mucho por hacer





Cada año, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) publica el Índice Mundial de Innovación, un *ranking* que mide áreas como la educación, el fortalecimiento institucional, el desarrollo y el capital humano para identificar a los países más innovadores del mundo. Este año, Colombia descendió diez puntos, quedando en el lugar 71 de 139 países.

Los expertos atribuyen esta caída a la falta de recursos destinados a la innovación, a un entorno regulatorio incierto y a la débil articulación entre universidades y empresas, que con frecuencia se concentran más en reuniones y diagnósticos que en sacar adelante proyectos con métricas claras de impacto. Sin embargo, el Gobierno nacional se fijó como meta que la inversión en investigación y desarrollo (I+D) alcance los 6.4 billones de pesos en 2028, según se recoge en el Plan Nacional de Desarrollo.

Los expertos también coinciden en que el país tiene un gran potencial y un talento humano muy creativo que puede darle vuelta a la ecuación en cualquier momento. Como señala el docente de innovación y *speaker* internacional Juan Builes en un artículo de opinión publicado en su página de LinkedIn: «Si Colombia logra articular esfuerzos entre Estado, empresas y academia, puede pasar de un perfil de ‘potencial disperso’ a un modelo de ‘productividad visible’. La ventana de oportunidad está abierta: el reto es ejecutarla con disciplina, foco y velocidad». En palabras de Builes, la caída en el *Global Innovation Index* (GII) no representa un fracaso, sino un punto de inflexión y de reflexión.

Frente a este escenario, es fundamental que las universidades se cuestionen sobre cómo pueden aportar para que haya un cambio social, cultural y tecnológico en la sociedad. Y eso es precisamente lo que hace la revista *La Tekhné*,

un medio para cuestionar, meditar y visibilizar proyectos institucionales, así como novedades del mercado. En esta edición, el lector encontrará artículos como «Del cubo Rubik a la ciberseguridad industrial», «Bioseñales contra la depresión», «El café colombiano y su potencial en la lucha contra el cáncer», entre otros temas relacionados con investigaciones aplicadas en ingeniería, biotecnología y sostenibilidad.

No hay que olvidar que, a lo largo de los años, el ITM ha demostrado ser un referente líder en ciencia e innovación. En 2025, la institución fue noticia por la patente otorgada por la Superintendencia de Industria y Comercio de un dispositivo de antena sintonizado por luz que soluciona los problemas que presentan las antenas tradicionales que muchas veces dejan a los usuarios sin datos. Asimismo, se destacó por la puesta en marcha de tres buses eléctricos que cuentan con un sistema de regeneración

de energía y rampas para personas con movilidad reducida, en cuyo ensamblaje participó un egresado del ITM.

Lo cierto es que tenemos mucho que destacar y, por eso, esta edición de la revista *La Tekhné* se centrará en la ciencia y en la innovación como los motores de cambio de una sociedad en constante evolución que necesita líderes comprometidos para cambiar el futuro del país. La innovación es un estado mental, una forma de pensar que debe ponerse en práctica. Por eso, todavía queda **mucho por hacer**.

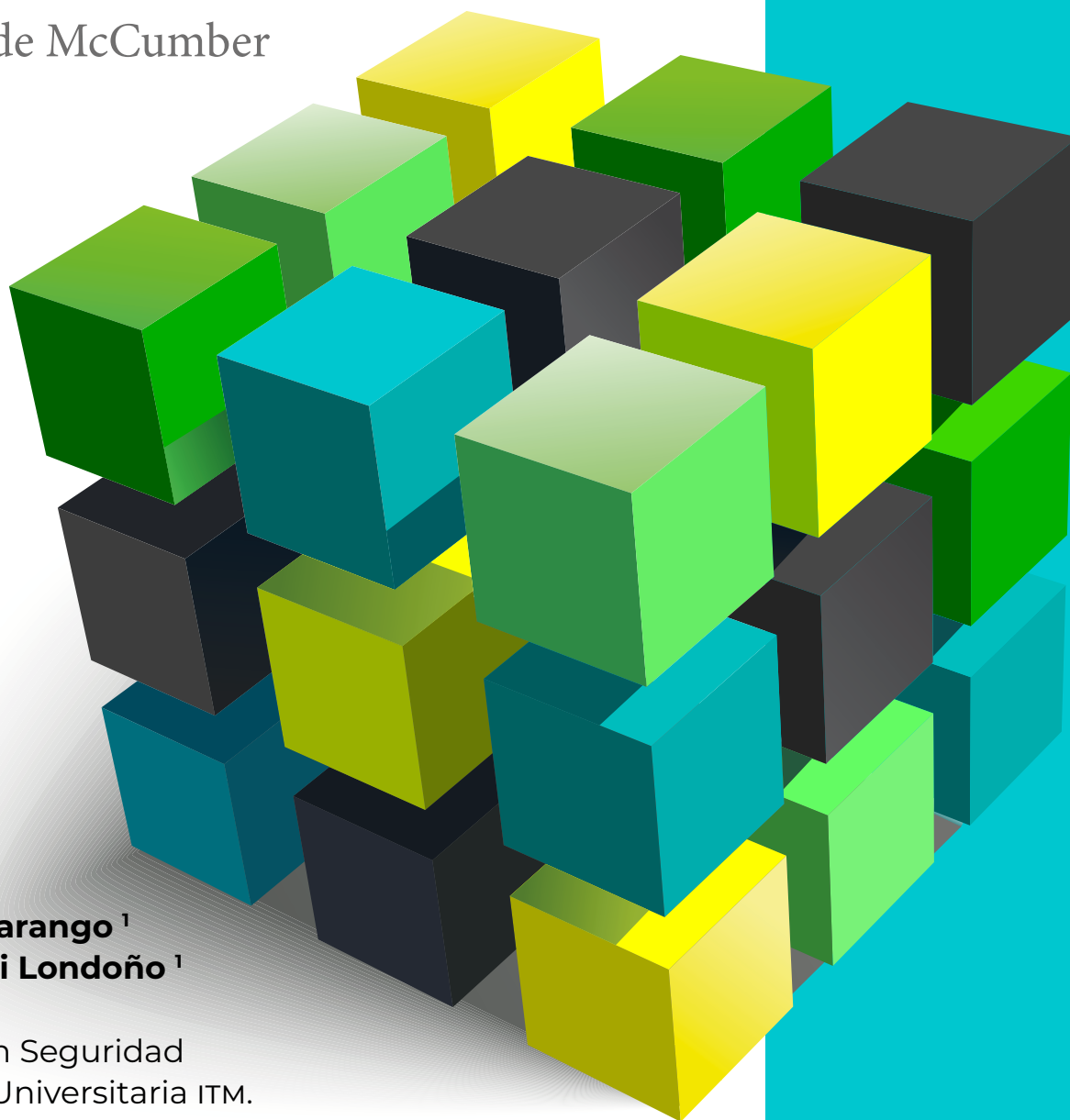


Editorial ITM.

# Del cubo Rubik a la ciberseguridad industrial



Innovación ingenieril mediante la  
extensión del cubo de McCumber



**Edgar Alberto Acevedoarango**<sup>1</sup>  
**Adriana María Echeverri Londoño**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estudiantes, Maestría en Seguridad  
Informática, Institución Universitaria ITM.

La industria flexográfica cumple un rol imprescindible en la producción de empaques, envases, cajas, etiquetas y otros insumos necesarios para las cadenas de suministro esenciales de otras industrias igualmente críticas como la alimentaria, la farmacéutica y la de bienes y productos de primera necesidad. Por su carácter difícilmente reemplazable, este sector enfrenta cada vez mayores amenazas cibernéticas que representan un reto para todas sus empresas.

Quisimos diseñar un modelo de ciberseguridad para la infraestructura informática asociada a la gestión de la cadena productiva crítica del sector flexográfico colombiano, con especial enfoque en las pequeñas y medianas empresas PYMES. Esta iniciativa busca fortalecer la protección de la seguridad de la información, garantizando su confiabilidad, integridad y disponibilidad en una industria esencial para el país.

El desarrollo del cubo Campanito de ciberseguridad industrial, CCCI (Industrial Cybersecurity Tinker Bell Cube o ICTBC, por sus siglas en inglés) [1], es una propuesta de innovación que adapta y amplía el marco conocido como cubo de McCumber de la seguridad informática [2].



La creciente automatización, digitalización e integración de sistemas de control digital (SCD) [3], junto con la adopción acelerada de tecnologías como el internet de las cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) en los procesos y en las cadenas productivas, ha elevado los riesgos cibernéticos en el sector flexográfico, evidenciando la necesidad de adoptar modelos robustos de ciberseguridad industrial. Esto es urgente debido a la sofisticación, complejidad e incremento en la cantidad y frecuencia de los ciberataques que cada día comprometen más la continuidad operativa y la resiliencia industrial, lo que afecta la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la seguridad de la información de las infraestructuras informáticas, en especial, de aquellos sistemas computacionales asociados a la gestión, operación y control de sus cadenas de producción críticas.

**Figura 1.** Plana típica de la industria flexográfica y su cadena de producción crítica, tomado de [4].

## Materiales, métodos y metodologías de investigación

Nuestro trabajo se desarrolló como parte de una tesis de maestría en Seguridad Informática. Nuestra investigación se estructuró mediante una metodología por fases, organizada en tres etapas sucesivas y articuladas, que permitieron avanzar, de forma gradual y ordenada, para la obtención de los resultados.



### Fase 1. Diagnóstico sectorial.

Se identificaron el estado actual y las necesidades de seguridad de la información en la industria flexográfica.



### Fase 2. Análisis técnico e innovación.

Se revisaron estándares y referentes internacionales de seguridad informática y se consolidó un prototipo de ciberseguridad mediante un proceso de innovación ingenieril que complementó, extendió, adaptó y actualizó el marco conocido como cubo de McCumber de la seguridad informática.



### Fase 3. Validación.

Se aplicó un instrumento metodológico a un grupo focal de expertos, con el fin de lograr la retroalimentación necesaria para verificar la eficacia y efectividad del prototipo cibernético y efectuar los ajustes necesarios para consolidar su versión final.



Fuente: Freepik. Licencia libre.

## Un nuevo cubo mágico para la seguridad digital de la industria

Como parte del proceso, mejoramos y actualizamos el reconocido cubo de McCumber, un modelo marco de ciberseguridad que, en su momento, representó una propuesta innovadora. Este se inspiró en el popular cubo de Rubik o cubo mágico, muy de moda en los años noventa. El cubo de la seguridad informática, como también se le conoce, fue ideado, por el ingeniero J. R. McCumber, exintegrante de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (USAF), la Agencia de Seguridad Nacional (NSA) y la Iniciativa Nacional para la Educación en Ciberseguridad (NICE). Originalmente, McCumber propuso asociar las tres dimensiones fundamentales de la seguridad informática de la época con las caras laterales de un cubo mágico en su reconocido marco de seguridad cibernética.

De esta manera, tanto los objetivos de la seguridad de la información —conocidos como la tríada de la CIA: confiabilidad, integridad y disponibilidad— como los estados de la información (datos en tránsito, datos en procesamiento y datos en almacenamiento), y también, los mecanismos o contramedidas de seguridad informática —la tecnología, el factor humano y su capacitación, así como las políticas y procedimientos de ciberseguridad— quedaron vinculados con tres de las caras laterales de un cubo. Este antiguo marco de ciberseguridad consolidó las ideas básicas de protección y defensa cibernética de manera efectiva, eficaz y didáctica, acorde con las necesidades digitales de la época, de manera fácilmente comprensible, incluso para personas no especializadas en el área. No sobra mencionar que fue un éxito claro en su tiempo, constituyéndose como base de la ciberdefensa de la época.

Sin embargo, debido a los avances tecnológicos y a la evolución constante de las condiciones de seguridad cibernética, tras varias décadas, se hace necesario actualizar y fortalecer el marco original del cubo de McCumber. Con el fin de proteger de forma adecuada al sector industrial, en particular a las PYMES, se requiere una versión mejorada, ampliada y contextualizada a los desafíos actuales.

Este trabajo dio como resultado la creación del ccci. Es una propuesta novedosa que retoma la idea original de McCumber, pero la amplía, la adapta y la actualiza. Surgió de un proceso ingenieril de mejora en el que se incorporaron tres dimensiones de seguridad digital, diseñadas para enfrentar los desafíos cibernéticos específicos en los entornos industriales con infraestructuras productivas críticas.



Para lograrlo, el ccci aprovecha las tres caras restantes, que McCumber no había considerado, y añade tres dimensiones clave: los estándares y referentes internacionales ampliamente aceptados de seguridad informática (que incluyen el marco NIST 2.0 CSF, la familia de normas ISO 27000 series y los CIS controls); la aplicación operativa (adaptabilidad y flexibilidad, interoperabilidad e integrabilidad, y la escalabilidad) muy necesaria en la actualidad; y, finalmente, la continuidad y la resiliencia, fundamentales para los ámbitos industriales y, particularmente, en lo que respecta a procesos o cadenas productivas críticos y que se apoyan en normas como la ISO 22301 de continuidad del negocio, la ISO 22361 sobre gestión de crisis y la ISO 22316 de resiliencia organizacional.

El marco de ciberseguridad ccci representa una propuesta innovadora, pertinente y especialmente adecuada para la protección digital de la industria flexográfica; llega en un momento

crucial y, aunque conserva las ideas centrales de McCumber, robustece la defensa cibernética en profundidad, reduciendo de forma significativa los riesgos informáticos para las empresas, en particular para las PYMES, que suelen contar con recursos, personal y tecnología limitados.

Además, entre sus valores agregados se destacan dos aspectos. Primero, su diseño puede ser adoptado por otros sectores industriales similares al flexográfico con procesos o cadenas productivas críticos. Segundo, al igual que su predecesor, funciona como una excelente herramienta didáctica, pedagógica y de capacitación, que facilita la comprensión del modelo de ciberseguridad y su adopción por parte de gerentes, directivos y personal no especializado. Esto, sumado a su rigurosidad técnica, lo convierte en una herramienta cibernética para hacer seguimiento, evaluación, auditoría y mejoramiento de un sistema informático, de forma eficiente y efectiva.

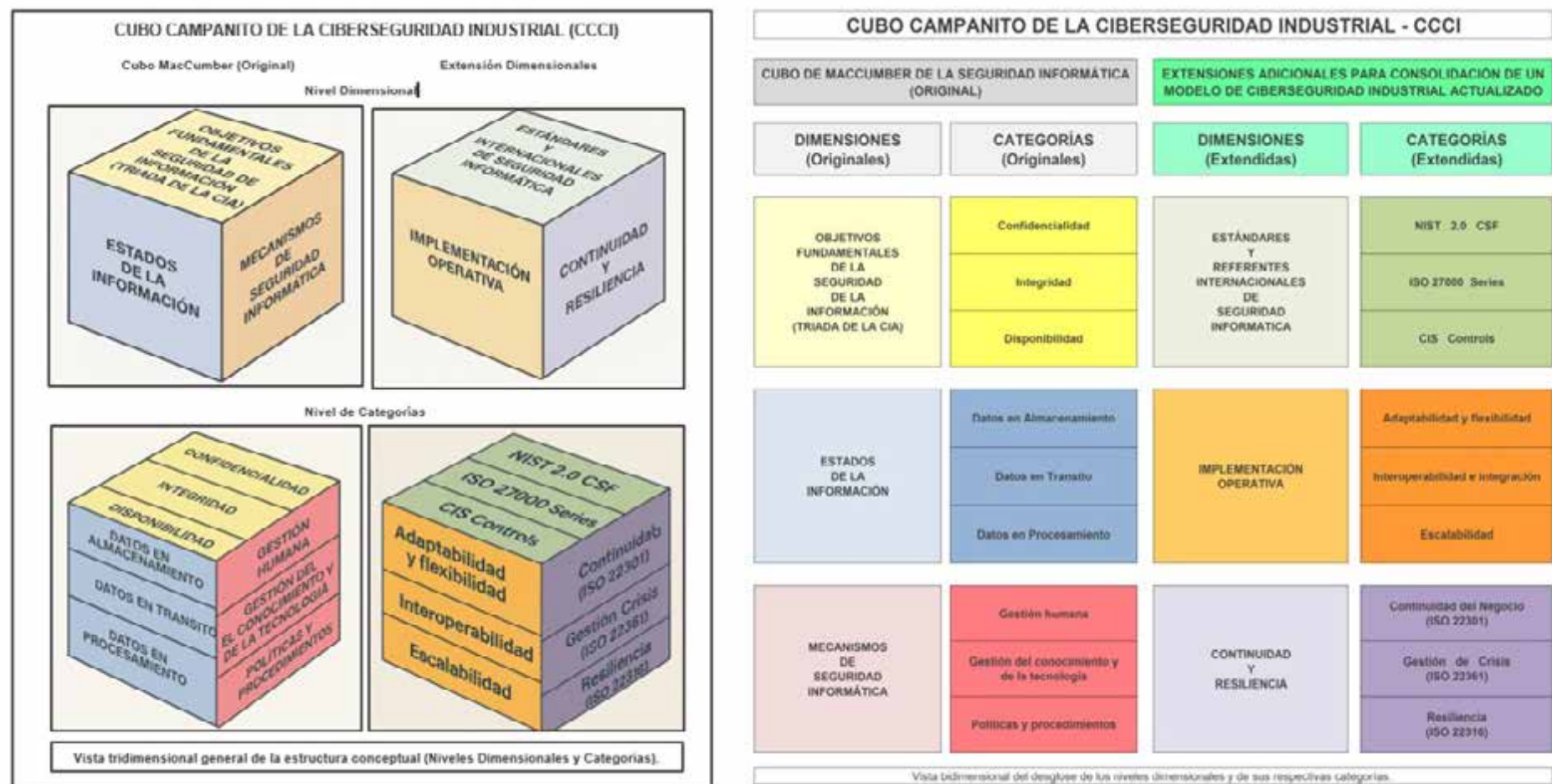


Figura 2. Cubo Campanito de la ciberseguridad industrial (cci), versión completa, elaboración propia, adaptada de [1].

# CONCLUSIONES

Nuestra investigación permitió demostrar que la industria flexográfica enfrenta un nivel creciente de riesgo cibernético, impulsado por la automatización, la digitalización acelerada y la adopción de tecnologías emergentes, como la integración de sistemas de control digital y la incorporación de IoT y AI en sus procesos productivos.

Este panorama, sumado al incremento en la sofisticación, complejidad y frecuencia de los ciberataques, confirma la urgencia de adoptar modelos robustos de ciberseguridad que no solo protejan la infraestructura tecnológica, sino que garanticen la continuidad operativa y la resiliencia de las cadenas de producción críticas de este sector esencial de la economía real.

Así, CCCI representa una innovación ingenieril y metodológica que incorpora nuevas y necesarias dimensiones de seguridad digital, orientadas a la protección cibernética integral de la industria, basada en estándares internacionales, aplicación operativa (adaptabilidad, interoperatividad, escalabilidad) y un aspecto esencial: la continuidad y la resiliencia digital, tan propias de las industrias con procesos críticos.

En términos prácticos, y como valor agregado, el marco CCCI no solo aporta a la innovación, sino que facilita la adopción y comprensión del modelo de ciberseguridad por parte de las directivas y del personal no especializado. Igualmente, es una herramienta replicable en otros entornos industriales, lo que refuerza su contribución al fortalecimiento de la competitividad y la sostenibilidad empresariales en sectores productivos estratégicos.

«El modelo puede ser entendido y aplicado por personas no expertas, incluyendo operarios, técnicos y personal administrativo».





## Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a Serviflex Arco Internacional S.A.S. (empresa patrocinadora), al ITM, a los ingenieros Héctor Fernando Vargas Montoya, Francisco Eugenio López Giraldo, Juan Fernando Hurtado Rivera, Leonel Marín, Sergio A. Álvarez G., Juliver Gil Herrera, Juan F. Puerta, Carlos Julio Escobar Noreña, Elizabeth Rodríguez Acevedo, Alicia Osorio Builes, Eduard Alberto García Galeano, Martha Cecilia Caballero Jerez, a la Editorial ITM; al rector del ITM, Alejandro Villa Gómez y a los diversos docentes, compañeros y profesionales, así como al Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Sapiencia, Mintic, Cisco, IBM, AWS, Open AI, Microsoft, Oracle, Google y a todas aquellas organizaciones y personas que han contribuido, de una u otra manera, a nuestra formación como *ethical hackers* y profesionales de la ciberseguridad, incluidos *youtubers* creadores de contenido educativo en seguridad informática, campos asociados y afines.

## Referencias

- [1] E. A. Acevedo Arango y A. M. Echeverri L., «Diseño de un modelo de ciberseguridad para la cadena de producción crítica de la industria flexográfica», Tesis de maestría, Seguridad Informática, Institución Universitaria ITM, Medellín, Colombia, 2025.
- [2] J. R. MacCumber, «Information Systems Security: A Comprehensive Model», in 14th National Computer Security Conference, Washington, D.C., USA, 1991, pp. 328-337. <http://csrc.nist.gov/publications/history/nissc/1991-14th-NCSC-proceedings-vol-1.pdf>
- [3] E. A. Acevedo Arango, «Sistemas de control digital en subestaciones eléctricas de alta y extralta tensión», Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 1997.
- [4] EnvaPack (17 de mayo, 2019). Establecimiento Gráfico Impresores continúa creciendo en el mercado de embalaje flexible con impresoras flexo de tambor central y máquinas laminadoras BOBST. [Online] Disponible en: <http://bit.ly/4p1KGCi>

**Fuente:** Freepik. Licencia libre.

# MOVILIDAD SOSTENIBLE

¡Muévete de forma sostenible, muévete con conciencia!

## ¿Qué es movilidad sostenible?

- » Usar medios de transporte que reduzcan el impacto ambiental.
- » Caminar, usar la bici, compartir el carro, transporte público o vehículos eléctricos.
- » Cuidar la vida propia y la de los demás en la vía.

## Beneficios para todos



Reduce la contaminación del aire.



Mejora la salud y el bienestar.



Menos congestión en las vías.



Ahorro de tiempo y dinero.



La vida es de todos, respétala

[gestionambiental@itm.edu.co](mailto:gestionambiental@itm.edu.co)

¡ITM, generando conciencia ambiental y sostenible!



Juan Carlos Granada-García <sup>1</sup>

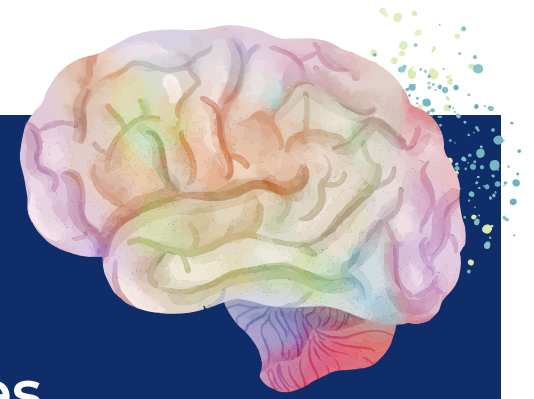
Sebastián Roldán-Vasco <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante, Ingeniería Biomédica, Semillero de Aprendizaje de Máquina y Procesamiento de Señales, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Institución Universitaria ITM.

<sup>2</sup>Docente, Semillero de Aprendizaje de Máquina y Procesamiento de Señales, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Institución Universitaria ITM.

# Bioseñales contra la depresión

La ingeniería al servicio de la vida



Para enfrentar la crisis de depresión que aqueja a los estudiantes universitarios, el ITM, en colaboración con otras instituciones académicas y médicas, está desarrollando una herramienta que permitirá detectar la depresión de manera objetiva.

**P**reocupados por la salud mental de la comunidad estudiantil del ITM, un grupo de investigadores del programa de Ingeniería Biomédica de la institución nos hemos embarcado en el desarrollo de un programa para diagnosticar y valorar la severidad del trastorno depresivo mayor (TDM) entre los universitarios.

Nuestro proyecto pretende usar bioseñales, análisis de voz, imágenes faciales y el aprendizaje automático para procesar datos, ajustar modelos de aprendizaje de máquina y de aprendizaje profundo con el fin de valorar el estado de salud mental de la población del ITM.

Esperamos que esta tecnología supere las limitaciones de los métodos tradicionales, como la subjetividad y el sesgo de ocultamiento, y que ofrezca una evaluación rápida y precisa, planteando una solución escalable para mejorar la salud mental de los jóvenes colombianos.

Para este trabajo, nos hemos aliado con ingenieros de la Universidad de Antioquia y con los profesionales de psiquiatría y neurorrehabilitación del Grupo de Neurociencias de Antioquia y de la Universidad Pontificia Bolivariana.

## Panorama de la depresión en Colombia

La depresión es un trastorno mental grave y en aumento en Colombia, especialmente entre la población universitaria. Diversos estudios muestran que en algunas instituciones de educación superior más del 60 % de los estudiantes la padece en algún grado. Este panorama es alarmante y se ve agravado por la escasez de profesionales en salud mental, lo que dificulta un diagnóstico y tratamiento oportunos.

La depresión, o el trastorno depresivo mayor (TDM), es una enfermedad común pero grave,

que se caracteriza por un estado de ánimo persistentemente bajo, pérdida del interés o el placer en las actividades cotidianas, sentimientos de desesperación, ansiedad y baja autoestima.

En la última década, su presencia ha incrementado de manera significativa. Se estima que en 2019 había cerca de 290 millones de personas con depresión en el mundo (OMS, 2025; Zhang et al., 2024) y que tan solo en 2020, como efecto de la pandemia, se registraron aproximadamente 50 millones de casos adicionales (Zhang et al., 2025).

La población entre los 10 y los 24 años merece especial atención, ya que este rango de edades se caracteriza por rápidos cambios biológicos, psicológicos y sociales que incrementan el riesgo de desarrollar enfermedades mentales, incluido el TDM (Zhang et al., 2025).

A pesar de este panorama, el número de profesionales capacitados para diagnosticar y tratar el TDM no crece al mismo ritmo que los casos reportados. La OMS recomienda disponer de al menos diez especialistas por cada cien mil habitantes; no obstante, la mayoría de los países no cumple con estos estándares y en Colombia, por ejemplo, solo hay tres profesionales por cada cien mil habitantes.

Como la mayoría de los estudiantes universitarios del país se encuentra en la adolescencia o en la adultez temprana, es pertinente enfocarnos en este grupo. Un estudio de la Universidad Nacional de Colombia (Díaz Ramírez, 2012) reveló que el 56.9 % de los estudiantes encuestados presentaba depresión leve, el 25.9 %, moderada y el 3.6 %, grave.

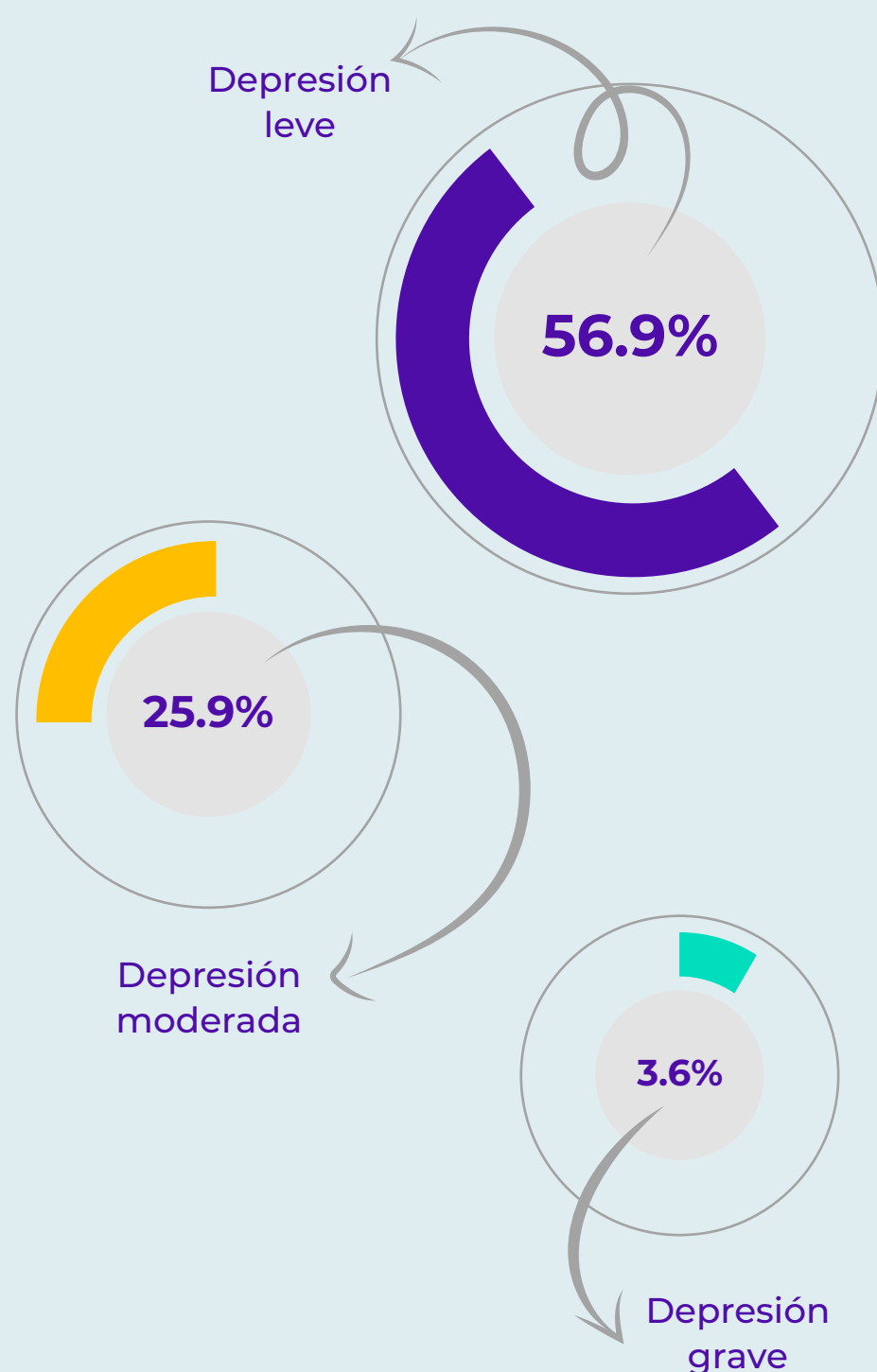
Si se considera que alrededor del 50 % de las personas con depresión recibe un diagnóstico erróneo en la primera valoración (Mitchell et al., 2009), resulta evidente la necesidad de diseñar

Fuente: Freepik. Licencia libre.



herramientas confiables, escalables y accesibles que permitan una detección temprana. Esto no solo favorecería un tratamiento oportuno, sino que también contribuiría a mejorar de manera significativa la salud mental de la población en general y de la comunidad universitaria en particular.

## Salud mental en universitarios



## Depresión e ideación suicida

El suicidio es en la actualidad una de las principales preocupaciones en materia de salud mental. Según la OMS, en 2021 el suicidio fue la tercera causa de muerte más frecuente entre los 15 y 29 años (OMS, 2025). En Colombia, por ejemplo, la mayor cantidad de muertes por este motivo se registra en personas en edad de cursar educación media, básica primaria y técnica profesional o tecnología (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2023).

Junto con la depresión, la ideación suicida representa una carga significativa, no solo para quienes la experimentan, sino para sus familias y comunidades (Knox, 2014). Esta se define como pensamientos o impulsos repetitivos de querer hacerse daño o quitarse la vida, sin que necesariamente se llegue a ejecutar tal acción. La ideación suicida está estrechamente relacionada con la presencia de TDM y, a su vez, el TDM es un factor de riesgo.

Se calcula que alrededor del 95 % de las personas que intentan suicidarse y que padecen TDM han reportado ideación suicida (Sokero et al., 2003). Debido a la fuerte correlación entre ambas condiciones, resulta altamente recomendable la evaluación de la ideación suicida en pacientes con depresión.

Sin embargo, la evaluación de la ideación suicida tiene sus limitaciones, ya que su detección depende, en gran medida, de las habilidades del profesional que efectúa la valoración y, aun así, puede verse afectada por el sesgo de ocultamiento, que está relacionado con el hecho de que el paciente responda erróneamente, de manera deliberada, a ciertas preguntas motivado por factores como el temor a la estigmatización.

Este sesgo influye de manera significativa en la fidelidad de los resultados, lo que lleva a los psicólogos a intentar estrategias de evaluación más sutiles. En algunos casos, se recurre a análisis de riesgo estadístico, como el inventario de frecuencia de ideación suicida (IFIS), que ni siquiera es un examen específico para el paciente.

## Pruebas psicológicas y limitaciones

Los métodos para diagnosticar depresión y las pruebas psicológicas suelen basarse en autoinformes, cuestionarios y entrevistas clínicas; estos instrumentos tienen una confiabilidad limitada debido a su subjetividad y presentan falencias inherentes muy complejas de tratar como la dependencia de la experiencia del profesional, la sinceridad y la disposición del paciente (Riad et al., 2024).

Por ejemplo, las dos escalas más usadas son el cuestionario sobre la salud del paciente y el inventario de depresión de Beck (PHQ-9 y BDI), que las aplican los psicólogos y constituyen los métodos más empleados por los investigadores para valorar el estado psicológico del paciente.

A pesar de que son cuestionarios y que tienen las limitaciones mencionadas, ofrecen una valoración numérica que es útil para ciertos enfoques como el aprendizaje de máquina o machine learning.

Si bien las escalas cuantitativas y numéricas facilitan el abordaje más objetivo del TDM, es difícil verificar los resultados, ya que hay escalas que no son compatibles entre sí por las diferencias entre su enfoque y la formulación de las preguntas, lo que puede arrojar apreciaciones diferentes con valores similares y aplicar diversas pruebas es altamente demandante en tiempo. A esto se suma que existen algunas escalas que no pueden binarizarse, es decir, no permiten la definición de un umbral a partir del cual una persona pueda ser diagnosticada con TDM (Riad et al., 2024).

**La tecnología puede aportar objetividad, rapidez y escalabilidad al diagnóstico de la depresión.**





Fuente: Freepik. Licencia libre.

## Tecnología como ayuda diagnóstica para los trastornos de depresión

Con el fin de contrarrestar las limitaciones de las pruebas psicológicas en la medición objetiva de la presencia y severidad del TDM, se ha propuesto emplear fuentes de información distintas a las proporcionadas por la aplicación de un simple cuestionario de preguntas-respuestas.

Entre ellas, se destaca el uso de bioseñales y análisis de expresiones faciales y formas de hablar. Estas herramientas buscan no solo cuantificar el nivel de TDM, sino evitar la presencia del sesgo de ocultamiento, ya que miden ciertos rasgos de origen biológico que pueden manifestarse en los pacientes con la enfermedad.

La electroencefalografía (EEG) es una técnica no invasiva que mide la actividad eléctrica de la corteza cerebral. Aunque es una de las señales más exploradas en el ámbito de la depresión, implica recolecciones de datos más engorrosas y difíciles de aplicar fuera de entornos clínicos, sin mencionar que tratar con la naturaleza compleja

de la señal requiere de profundos conocimientos del funcionamiento del cerebro, lo que implica la participación de personal altamente especializado.

Otra señal muy explorada es la de voz: es de fácil adquisición, no requiere equipo especializado ni personal demasiado entrenado; esto convierte a la voz en una herramienta potencial para el análisis efectivo del TDM.

Finalmente, numerosos estudios han usado imágenes y video para la detección de emociones que se basan en el análisis de las expresiones faciales y su respuesta ante estímulos externos, así como en la relación entre dichas expresiones y los movimientos del rostro vinculados a emociones específicas, lo que permite el análisis no solo temporal, sino también espacial de variaciones que se producen luego de la exposición a estímulos.

De esta manera, existen numerosas fuentes de información con potencial para la evaluación del TDM, pero se debe buscar un conjunto de herramientas que respondan a los siguientes criterios: facilidad de aplicación, objetividad, protección al sesgo, así como costo y tiempo de evaluación razonables.

# Conclusiones

El abordaje de la depresión en Colombia enfrenta desafíos significativos, principalmente derivados de la insuficiente capacidad del sistema de salud mental para responder a la creciente demanda, especialmente en poblaciones vulnerables como jóvenes y universitarios. La subjetividad inherente a los métodos diagnósticos tradicionales limita la detección temprana y precisa, lo que puede retrasar intervenciones cruciales.

Frente a este panorama, la incorporación de tecnologías basadas en bioseñales, análisis de voz e imágenes faciales —junto con el uso de aprendizaje automático— ofrece un camino innovador para superar estas limitaciones. Estas herramientas tienen el potencial de aportar objetividad y escalabilidad al proceso diagnóstico, facilitando la identificación más rápida y confiable de la depresión sin depender exclusivamente de la evaluación clínica tradicional.

El proyecto desarrollado en el ITM representa un avance importante en esta dirección, demostrando cómo la colaboración interdisciplinaria puede materializar soluciones tecnológicas concretas, adaptadas a las necesidades locales y con capacidad de impactar positivamente la calidad de vida de quienes padecen depresión.

En suma, impulsar la innovación tecnológica aplicada a la salud mental es fundamental para mejorar la capacidad de detección y atención en Colombia, y para contribuir a reducir las consecuencias negativas asociadas a la depresión y sus riesgos asociados, como la ideación suicida.

## Referencias

1. Baños-Chaparro, J., Ynquillay-Lima, P., Lamas-Delgado, F., y Fuster-Guillen, F. G. (2021). Inventario de frecuencia de ideación suicida: Evidencias psicométricas en adultos peruanos. *Revista Información Científica*, 100(4). <https://www.redalyc.org/journal/5517/551768187005/html/>
2. Díaz Ramírez, N. L. (2012). *Depresión y Factores Asociados en Estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9895>
3. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. (2023). Comportamiento del suicidio. Colombia, año 2023. *Forensis*, 25, 368-405. <https://www.medicinalegal.gov.co/cifras-estadisticas/forensis>
4. Knox, K. (2014). Approaching Suicide as a Public Health Issue. *Annals of Internal Medicine*, 161(2), 151-152. <https://doi.org/10.7326/M14-0914>
5. Mitchell, A. J., Vaze, A., and Rao, S. (2009). Clinical Diagnosis of Depression in Primary Care: A Meta-Analysis. *The Lancet*, 374(9690), 609-619. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)60879-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60879-5)
6. oms [Organización Mundial de la Salud]. (2025). *Suicidio*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/suicide>
7. Riad, R., Denais, M., De Gennes, M., Lesage, A., Oustric, V., Cao, X. N., Mouchabac, S., and Bourla, A. (2024). Automated Speech Analysis for Risk Detection of Depression, Anxiety, Insomnia, and Fatigue: Algorithm Development and Validation Study. *Journal of Medical Internet Research*, 26, e58572. <https://doi.org/10.2196/58572>
8. Sokero, T. P., Melartin, T. K., Rytsälä, H. J., Leskelä, U. S., Lestelä-Mielonen, P. S., and Isometsä, E. T. (2003). Suicidal Ideation and Attempts Among Psychiatric Patients with Major Depressive Disorder. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 64(9), 1094-1100. <https://doi.org/10.4088/jcp.v64n0916>
9. Zhang, Y., Jia, X., Yang, Y., Sun, N., Shi, S., and Wang, W. (2024). Change in the Global Burden of Depression from 1990-2019 and its Prediction for 2030. *Journal of Psychiatric Research*, 178, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2024.07.054>
10. Zhang, Y., Li, Z., Feng, Q., Xu, Y., Yu, R., Chen, J., Gao, Z., Miao, Z., Xu, X., and Yang, Y. (2025). Global, Regional and National Burdens of Major Depression Disorders and its Attributable Risk Factors in Adolescents and Young Adults Aged 10-24 Years From 1990 to 2021. *BMC Psychiatry*, 25(1), 399. <https://doi.org/10.1186/s12888-025-06772-w>

# Café con mucílago\*



## El encuentro entre ciencia, sabor y sostenibilidad

Juan Pablo Colorado<sup>1</sup>  
Jonathan Donado<sup>1</sup>  
Paula Andrea Osorio<sup>1</sup>  
María Elena Maldonado<sup>2</sup>  
Sarah Ruth Rothlisberger<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jóvenes investigadores, Escuela de Nutrición y Dietética, Universidad de Antioquia.

<sup>2</sup>Docente, Escuela de Nutrición y Dietética, Universidad de Antioquia.

<sup>3</sup>Docente, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Institución Universitaria ITM.

\*Trabajo financiado por Minciencias, Convocatoria 890-2020 para el fortalecimiento de CTEI en instituciones de educación superior públicas con recursos administrados por el ICETEX. A su vez, recibió apoyo de la Red de Semilleros de la Universidad de Antioquia a través de la Fundación Universidad de Antioquia, Convocatoria Ideación 2024.



**Con este innovador proyecto demostramos con datos que el mucílago se puede convertir en un ingrediente funcional que aporta valor agregado a una de las bebidas más conocidas y consumidas del mundo, con impacto en la salud y en la economía de los caficultores.**

## **El redescubrimiento de un residuo con valor funcional**

**D**urante nuestras clases sobre alimentos funcionales una sustancia viscosa llamó poderosamente nuestra atención: el mucílago, que se encuentra en cada grano de café y que suele desecharse durante el procesamiento.

En ese momento, el Grupo de Investigación e Innovación Biomédica del ITM y el de Impacto de los Componentes Alimentarios en la Salud de Nutrición y Dietética de la Universidad de Antioquia, nos preguntamos si era posible cambiar la calidad de una bebida de café agregándole mucílago. Para ello, llevamos a cabo un análisis sensorial, un método que permite evaluar las características de un alimento a través de los sentidos.

Nuestra investigación demostró que el mucílago puede transformar una taza de café tostado molido en una bebida más rica en antioxidantes, con un mejor perfil sensorial y un potencial beneficio para la salud humana. Lo que inicialmente parecía una curiosidad académica, se convirtió en una experiencia transformadora que nos permitió ver cómo un residuo puede convertirse en un potencial aliado de la sostenibilidad y la salud.

Nuestro hallazgo es importante porque articula tres aspectos que pocas veces coinciden en un mismo producto alimentario: el sabor, el bienestar y la sostenibilidad. A través del análisis de su composición nutricional, antioxidante y sensorial, contrastamos nuestros resultados con los del café tradicional y encontramos no solo diferencias relevantes, sino también un enorme potencial para resignificar un residuo agroindustrial y convertirlo en un ingrediente funcional cotidiano.

## **Una bebida ancestral con nuevas características sensoriales**

El café es una bebida con compuestos bioactivos, es decir, químicos de origen vegetal con potenciales efectos benéficos para la salud. Diversos estudios han asociado su consumo con una posible reducción en el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas no transmisibles (Guasch-Ferré et al., 2017). Entre estos compuestos destaca la cafeína, conocida por reducir la fatiga y la somnolencia luego de su consumo (Ludwig et al., 2014).

La calidad del café se determina a partir de sus características sensoriales como la acidez, el amargor, el cuerpo, el aroma, el sabor y el color. La calidad sensorial está influenciada por diferentes

factores a lo largo de la cadena de producción, que van desde la variedad de café hasta el método de preparación final. De hecho, se han identificado más de ochocientos cincuenta compuestos en el café, tanto en su forma verde como tostada, muchos de ellos responsables de sus características sensoriales u organolépticas (Ludwig et al., 2014).

## Una bebida que convence

Elaboramos nuestra bebida con mucílago natural a partir de café colombiano tostado y molido procedente de Andes, Antioquia, y suministrado por Natucafé, empresa aliada del proyecto. Diez jueces entrenados (8 hombres y 2 mujeres, entre los 23 y 58 años) hicieron el análisis sensorial, guiándose por una escala que va desde el rechazo total hasta la máxima aceptación posible en cada atributo y de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana (NTC) para el análisis sensorial del café NTC 4883:2000.

Todos los evaluadores manifestaron el mayor nivel de aceptación posible para cada atributo. Estos resultados no solo muestran un producto agradable, sino que también abre la posibilidad de aprovechar un residuo del café para crear una bebida funcional, con sabor, aceptación y potencial impacto positivo para la salud.

En comparación con el café filtrado tradicional, que suele ser más amargo y de textura más acuosa, el café con mucílago tiene un cuerpo más denso y una textura más compleja. Los azúcares (o polisacáridos) naturales del mucílago pueden ser responsables de esa sensación más agradable y envolvente en la boca. Este perfil sensorial diferenciado no solo hace que esta bebida sea más rica, sino que puede representar una oportunidad para desarrollar nuevas experiencias para consumidores y mercados en busca de innovación.



Fuente: Freepik. Licencia libre.



## El potencial antioxidante del café con mucílago

Tras la evaluación de la calidad sensorial, pasamos al análisis fisicoquímico y antioxidante de la bebida. El análisis fisicoquímico nos permitió conocer la composición básica de la bebida en cuanto a su

contenido de agua, proteínas, grasas, carbohidratos y minerales (cenizas) que comparamos con los valores de referencia de acuerdo con café filtrado convencional por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), y cuyos valores se encuentran en la Tabla 1. El contenido de nutrientes que aportan energía en ambas bebidas es bajo (carbohidratos y grasas).

	<b>Café con mucílago</b>	<b>Café filtrado convencional (USDA)</b>
		
<b>Humedad (g/100 ml)</b>	<b>98.20</b>	<b>~ 99</b>
<b>Proteína (g/100 ml)</b>	<b>0.24</b>	<b>~ 0.125</b>
<b>Carbohidratos (g/100 ml)</b>	<b>0.95</b>	<b>~ 0 g</b>
<b>Grasas (g/100 ml)</b>	<b>&lt;0.33</b>	<b>0 g</b>
<b>Cenizas (g/100 ml)</b>	<b>&lt;0.16</b>	<b>~ 0.01</b>
<b>Fenoles totales (mg EAG/100 g)</b>	<b>33.91</b>	<b>No reportado por USDA</b>
<b>Flavonoides totales (mg EC/100 ml)</b>	<b>716.79</b>	<b>~0.04-0.05 mg/100 g</b>
<b>Valor antioxidante FRAP (mg EAA/100 g)</b>	<b>153.74</b>	<b>No reportado</b>
<b>Valor antioxidante ORAC hidrofílico (µmol TE/100 g)</b>	<b>3246.62</b>	<b>1000-2500</b>

EAG: equivalentes de ácido gálico; EC: equivalentes de catequina; EAA: equivalentes de ácido ascórbico; FRAP: *Ferric Reducing Antioxidant Power*; ORAC: *Oxygen Radical Absorbance Capacity*; TE: *Trolox Equivalent*.

**Tabla 1.** Composición proximal y características antioxidantes



**Fuente:** Michael Burrows. Pexels. Licencia libre.

El café es naturalmente rico en fenoles, un grupo de compuestos que producen las plantas (fitoquímicos) para su defensa contra el estrés, la radiación solar o los ataques de plagas (Farah y Donangelo, 2006). Estos compuestos replican sus beneficios como antioxidantes en las células humanas.

Dentro del grupo de compuestos fenólicos se encuentran los flavonoides, una familia de fitoquímicos ampliamente distribuida en frutas, verduras, té, vino y, por supuesto, en el café. A estas moléculas se les atribuyen efectos protectores porque pueden modular procesos inflamatorios, apoyan la salud cardiovascular y participan en numerosos procesos de defensa celular.

El análisis de la composición del café con mucílago mostró una gran diferencia en el contenido de antioxidantes (fenoles y flavonoides) en comparación con el café filtrado tradicional. Esto sugiere que la adición de mucílago mejora el perfil antioxidante de la bebida de café filtrado, tanto por el aumento en el contenido de flavonoides totales (compuestos vegetales reconocidos por su capacidad antioxidante), como por la presencia de otros compuestos fenólicos que en conjunto pueden actuar como defensa contra los radicales libres.

Los radicales libres son compuestos inestables que al acumularse dañan las células y favorecen procesos de envejecimiento celular

y enfermedades crónicas como el cáncer, la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y las enfermedades neurodegenerativas. Es decir, una molécula antioxidante actúa como un escudo protector que neutraliza ese ataque o evita el daño celular.

Por último, hicimos un conjunto de pruebas para evaluar la capacidad de un alimento para neutralizar radicales libres, en este caso se incluyeron las pruebas FRAP y ORAC.

El valor FRAP mide la capacidad de un alimento para actuar como antioxidante. Para ello, una muestra de la bebida de café se expone a un compuesto que contiene hierro y se observa cuánto puede neutralizarlo. Un valor FRAP alto significa que la bebida tiene un mayor potencial antioxidante.

En el caso del café con mucílago, sus valores fueron comparables a los de la vitamina C (ácido ascórbico), y sugiere que el consumo de esta bebida podría tener un efecto protector a nivel celular, al contribuir a mantener el equilibrio redox en el organismo (Spiegel et al., 2020). Por lo tanto, el valor FRAP actúa como una validación funcional de que los fenoles totales, entre ellos los flavonoides, están activos y efectivamente tienen poder antioxidante.

El valor ORAC mide la capacidad de un alimento o bebida para atrapar y neutralizar radicales libres, especialmente aquellos que provocan daño oxidativo en nuestras células (Ou et al., 2001). A diferencia del valor FRAP, que es un indicador químico, el método ORAC simula un entorno parecido al de las células, por lo que se aproxima a cómo pueden funcionar los compuestos antioxidantes del alimento en un ambiente acuoso celular. En nuestro estudio, el café con mucílago mostró un valor ORAC mayor al del café filtrado tradicional, lo que sugiere un mayor potencial antioxidante.

Una alta actividad ORAC se asocia con un mayor potencial protector frente al envejecimiento celular y al daño oxidativo, procesos implicados en enfermedades como el cáncer, la diabetes tipo-2 y enfermedades cardiovasculares (Ou et al., 2001). Este valor refuerza la evidencia de que la adición del mucílago no solo mejora la composición nutricional, sino que potencia el perfil antioxidante de la bebida más allá de los niveles convencionales.



**Apostar por el mucílago es una oportunidad para la salud, el medioambiente y la economía cafetera.**

## Repensar los residuos, revalorar los alimentos

La formación en investigación en pregrado es una oportunidad para comprender que los alimentos no son solo una combinación de nutrientes: también representan cultura, diversidad biológica y salud. Este enfoque permite reconocer el potencial oculto en compuestos que tradicionalmente se consideran desechos, como el mucílago del café, y que pueden tener un alto valor económico, además de generar impactos positivos en el medio ambiente y en la salud.

Este tipo de experiencias permite cuestionarse cuántos otros subproductos o residuos de la agroindustria están a la espera de su descubrimiento. Así, la formación en investigación en el campo de las ciencias de la nutrición y los alimentos estimula una nueva forma de pensar la generación y aprovechamiento del conocimiento científico más holístico.

Desde esta perspectiva, una bebida de café filtrado con adición de mucílago deja de ser solo una alternativa, se convierte en una oportunidad de innovación sostenible con múltiples beneficios.

La participación en el proyecto de investigación «Evaluación del efecto quimiopreventivo del café en un modelo in vitro 3D de cáncer colorrectal» aporta a la resignificación de un residuo de la cadena productiva del café, para transformarlo en una oportunidad que impacte positivamente la salud pública, el medioambiente y la economía de campesinos cafeteros.

Además, esta experiencia contribuye al desarrollo de competencias en los jóvenes investigadores como el análisis crítico, habilidades técnicas de laboratorio y la redacción de informes técnicos y académicos para la divulgación de resultados.

Fuente: Kevin Canlas. Unsplash. Licencia libre.



Desde el punto de vista disciplinar, se puede reconocer a la nutrición como una ciencia multidimensional que integra perspectivas sociales, ambientales y de innovación debido a la articulación de diferentes áreas del conocimiento que participan en este proyecto. De esta forma, se impulsa la formación de profesionales nutricionistas con pensamiento crítico y responsabilidad social, capaces de integrar conocimiento científico con acciones que contribuyan a la transformación y bienestar de la sociedad.

Adicionalmente, hacer investigación en las ciencias de la salud como la nutrición aporta al conocimiento, comprensión y generación de estrategias de prevención contra enfermedades crónicas no transmisibles como el cáncer. La alimentación no debe considerarse una actividad aislada, sino un fenómeno estrechamente relacionado con factores ambientales, sociales, culturales e incluso genéticos, los cuales influyen significativamente tanto en los individuos como en sus contextos.

Este tipo de investigaciones en las ciencias de la alimentación y nutrición humana permite comprender la interacción de alimentos y nutrientes con diferentes aspectos biológicos que influyen en la salud (Ohlhorst et al., 2013), de tal forma que los resultados generados a partir de investigaciones en nutrición experimental pueden apoyar estrategias costo-efectivas para la reducción de la prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles y reducir su carga en la salud pública.

Por ejemplo, la identificación de causas, riesgos, nutrientes críticos y compuestos bioactivos que tengan aplicación terapéutica puede aportar al desarrollo de estrategias preventivas y tratamientos colectivos o personalizados que sean menos invasivos.



La participación en proyectos de investigación durante la capacitación de pregrado forma un profesional capaz de tomar decisiones basadas en evidencia y una adecuada fundamentación, cuya postura sea sólida y en pro de la generación de soluciones innovadoras para la práctica profesional. Tal como señala Toledo Ocampo (2013), «es de suma importancia que los nuevos lineamientos o estrategias de salud sean basados en la evidencia científica como una política estatal para la mejora de la calidad en los procesos de atención médica».

Aunque la generación de conocimiento científico es uno de los resultados esperados en la investigación, este proyecto reconoce la soberanía alimentaria y destaca la valorización de los alimentos naturales de nuestro territorio. Este proyecto nos ha llevado a una reflexión académica sobre el papel de la ciencia en el fortalecimiento de la autonomía alimentaria regional y del campesinado.

Investigar nuestros propios alimentos aporta conocimiento para su sostenibilidad y muestra

oportunidades para que los productores locales logren una transformación positiva de los sistemas alimentarios. Así se contribuye a la oferta de alternativas alimentarias saludables, sostenibles y culturalmente pertinentes que llevan al desarrollo de una sociedad más equitativa y consciente.

La participación temprana en investigación durante la formación de pregrado constituye una experiencia formativa integral que combina conocimiento científico, compromiso social y perspectiva interdisciplinaria. Iniciativas como el estudio del café con mucílago no solo promueven la innovación y la sostenibilidad, sino que también contribuyen al fortalecimiento de la salud pública, la soberanía alimentaria y el desarrollo territorial.

## **Impacto ambiental, económico y en salud pública**

El mucílago de café representa aproximadamente entre el 14 % y el 22 % del peso fresco en el fruto de café y usualmente se desecha tras el beneficio húmedo, generando residuos orgánicos contaminantes con una demanda química de oxígeno (COD) entre 18600 y 29500 mg/l, así como nitrógeno total (aproximadamente 168 mg/l) y fósforo total (aproximadamente 23 mg/l), si no se trata adecuadamente antes de su vertido a cuerpos de agua.

Estudios en sistemas de humedales de flujo vertical han logrado reducir en más del 85 % la carga de COD, lo cual sugiere que su valorización reduce significativamente la contaminación generada por este residuo (Campos Morales y Durán Medina, 2019).

Por otro lado, aprovechar el mucílago como materia prima para bebidas funcionales o ingredientes alimentarios transforma un subproducto sin valor en una oportunidad de ingreso adicional. Estudios

recientes han demostrado que el mucílago de café puede convertirse en un hidrocoloide funcional con elevada estabilidad térmica, capacidad emulsificadora y contenido prebiótico (16 g de fibra dietética/100 g), así como actividad antioxidante significativa (32 mmol TE/kg;  $\approx$  7,76 mg GAE/g en peso seco), (Goksen et al., 2023). Estos atributos lo hacen atractivo como aditivo en formulaciones alimentarias, con potencial de mejorar la rentabilidad de caficultores y estimular emprendimientos rurales.

Desde la nutrición funcional, incorporar mucílago en una bebida de consumo diario como el café podría potenciar efectos beneficiosos más allá de los observados con el café convencional. Los antioxidantes y flavonoides presentes en el mucílago pueden contribuir a reducir el estrés oxidativo, modular la inflamación y potencialmente influir en mecanismos quimiopreventivos en tejidos de colon, especialmente entre consumidores regulares (Zapata-Londoño et al., 2022).

Asimismo, se ha reportado la presencia de polisacáridos prebióticos con actividad prebiótica, es decir, capaces de estimular el crecimiento de bacterias intestinales beneficiosas (Goksen et al., 2023), lo que refuerza su valor como ingrediente funcional con aplicaciones en la salud digestiva y el equilibrio de la microbiota.

La investigación alrededor del café y sus subproductos, como el mucílago, ilustra el potencial de la ciencia y la formación académica como herramientas para recuperar, resignificar y proyectar alimentos que forman parte del patrimonio territorial. Apostar por la innovación en salud utilizando insumos representativos del entorno constituye un acto de soberanía alimentaria y de transformación social, capaz de incentivar la creatividad local, aportar a la salud pública y abrir espacios para una alimentación con identidad, más justa y sostenible.

## Una invitación a seguir explorando

La bebida de café con adición de mucílago mostró un perfil sensorial favorable y una capacidad antioxidante comparable con la del café filtrado convencional, así como un contenido destacable en flavonoides como compuestos bioactivos. Por lo tanto, aprovechar el mucílago puede contribuir al desarrollo de una bebida con beneficios adicionales que aportan a la salud. La recuperación de este subproducto es un claro ejemplo de la convergencia de tradición, sostenibilidad y conocimiento científico en una sola taza de café.

La revalorización del mucílago del café apoya la soberanía alimentaria, dignifica el trabajo de los productores locales y genera oportunidades de innovación. El café con mucílago representa una alternativa saludable y simboliza la resiliencia del productor de café y la creatividad local.

La ciencia de los alimentos y de la nutrición debe explorar el potencial de subproductos como el mucílago para contribuir en la consolidación de sistemas alimentarios equitativos, diversos y sostenibles para la transformación social, económica y mejora de la salud pública. Esta experiencia académica confirma lo importante de continuar investigando, desarrollando y difundiendo alternativas propias que fortalecen el futuro de forma más equitativa y consciente.

## Referencias

1. Campos Morales, L. F., y Durán Medina, D. A. (2019). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales agrícolas generadas en el beneficio húmedo del café en la finca Buena Vista, Planadas, Tolima* [Trabajo de grado, Universidad El Bosque]. <https://hdl.handle.net/20.500.12495/2567>
2. Farah, A., and Donangelo, C. M. (2006). Phenolic Compounds in Coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 23-36. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100003>
3. Goksen, G., Demir, D., Dhama, K., Kumar, M., Shao, P., Xie, F., Echeagaray, N., and Lorenzo, J. M. (2023). Mucilage Polysaccharide as a Plant Secretion: Potential Trends in Food and Biomedical Applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 230, 123146. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123146>
4. Guasch-Ferré, M., Merino, J., Sun, Q., Fitó, M., and Salas-Salvadó, J. (2017). Dietary Polyphenols, Mediterranean Diet, Prediabetes, and Type 2 Diabetes: A Narrative Review of the Evidence. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 6723931. <https://doi.org/10.1155/2017/6723931>
5. Ludwig, I. A., Mena, P., Calani, L., Cid, C., Del Rio, D., Lean, M. E. J., and Crozier, A. (2014). Variations in Caffeine and Chlorogenic Acid Contents of Coffees: What are We Drinking? *Food & Function*, 5(8), 1718-1726. <https://doi.org/10.1007/s11032-017-0636-6>
6. Ohlhorst, S. D., Russell, R., Bier, D., Klurfeld, D. M., Li, Z., Mein, J. R., Milner, J., Ross, A. C., Stover, P., and Konopka, E. (2013). Nutrition Research to Affect Food and a Healthy Life Span. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 98, 620-625. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.067744>
7. Ou, B., Hampsch-Woodill, M., and Prior, R. L. (2001). Development and Validation of an Improved Oxygen Radical Absorbance Capacity Assay Using Fluorescein as the Fluorescent Probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(10), 4619-4626. <https://doi.org/10.1021/jf010586o>
8. Spiegel, M., Kapusta, K., Kołodziejczyk, W., Saloni, J., Żbikowska, B., Hill, G. A., and Sroka, Z. (2020). Antioxidant Activity of Selected Phenolic Acids-Ferric Reducing Antioxidant Power Assay and QSAR Analysis of the Structural Features. *Molecules*, 25(13), 3088. <https://doi.org/10.3390/molecules25133088>
9. Toledo Ocampo, E. A. (2013). La importancia de la investigación en salud. *Salud en Tabasco*, 19(1), 1. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48727474001>
10. Zapata Londoño, M. B., Uribe Yunda, D. F., Aguillón Osma, J., and Maldonado-Celis, M. E. (2022). Coffee, Ginger, and Cinnamon. In R. Campos-Vega and B. D. Oomah (Eds.), *Molecular mechanisms of functional food* (pp. 404-430). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119804055.ch12>

Fuente: StockSnap. Pixabay. Licencia libre.



# ¿ALGO NOS MIRA?

Ingeniería secreta en miniatura

**Claudia Betancur-Henao<sup>1</sup>**

**Robison Buitrago-Sierra<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Docentes, Grupo de Materiales Avanzados y Energía MATYER,  
Facultad de Ingenierías, Institución Universitaria ITM.



Fuente: FredHan. Pixabay. Licencia libre.

Lo que para nosotros es invisible, para un insecto es el mapa completo de su supervivencia. Durante décadas, la ciencia ha aprendido a inspirarse en esa precisión natural, pero quizá aún no nos hemos detenido a pensar en la pregunta inversa: ¿cómo nos ve la naturaleza a nosotros?



Comúnmente pasamos por alto los detalles de muchas de las cosas que nos rodean, sobre todo cuando esos detalles pertenecen a un mundo muy pequeño, diminuto o invisible a nuestros ojos.

Sin embargo, ese universo microscópico es una fuente inagotable de inspiración para enfrentar desafíos globales como la escasez de energía y la expansión de la población a través del desarrollo de materiales avanzados con nuevas propiedades ópticas para mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad (Ran et al., 2025; Wang et al., 2025).

Por ejemplo, investigadores coreanos han logrado imitar en 3D los ojos compuestos de insectos como la polilla para mejorar la captación de luz en células solares de perovskita (Kang et al., 2016), mientras que investigadores chinos, también a partir de los ojos de la polilla, han desarrollado estructuras biomiméticas y antirreflectoras sobre una superficie de silicio que podrían utilizarse eficazmente en aplicaciones prácticas, como la fotovoltaica, los sensores y los dispositivos electroópticos (Zhou et al., 2024).

Los insectos y los arácnidos son un ejemplo viviente de una arquitectura auténtica y compleja, cuyo entendimiento y estudio ha facilitado el desarrollo de materiales funcionales en ramas de la ingeniería como la biónica, que investiga las características estructurales y las conexiones entre la estructura y la funcionalidad de los materiales biológicos a nivel molecular para desarrollar nuevos materiales con propiedades similares o superiores (Chen et al., 2024; Li et al., 2021).

### La forma de los ojos

En la naturaleza, existen dos tipos principales de ojos: simples y compuestos. En el ojo simple, conocido también como tipo cámara, característico de los vertebrados, como los humanos, de algunos moluscos y arácnidos, la luz entra por una única abertura y luego es enfocada por una lente sobre los fotorreceptores de la retina (Pichaud y Casares, 2022).

Por otra parte, el ojo compuesto está formado de ojos unitarios adyacentes llamados omatidios,

que morfológicamente se reconocen como facetas hexagonales. Cada omatidio tiene su propia apertura: un aparato dióptrico compuesto por una lente corneal, un cono cristalino y un núcleo de células fotorreceptoras, es decir, cada omatidio actúa como un ojo independiente y por ello la imagen final es el resultado de las contribuciones de cada unidad.

Los ojos compuestos son los órganos fotorreceptores más comunes en el reino animal y están perfectamente adaptados para detectar movimientos y cambios rápidos en el ambiente. Sin embargo, sabemos que la imagen en el sentido de la visión de los insectos tiene mayor textura, pero los detalles no se ven claros y definidos, es decir, tienen menor nitidez (Zhao et al., 2025).

Ojo simple



Ojo compuesto



Fuentes: Pixabay. Licencia libre.

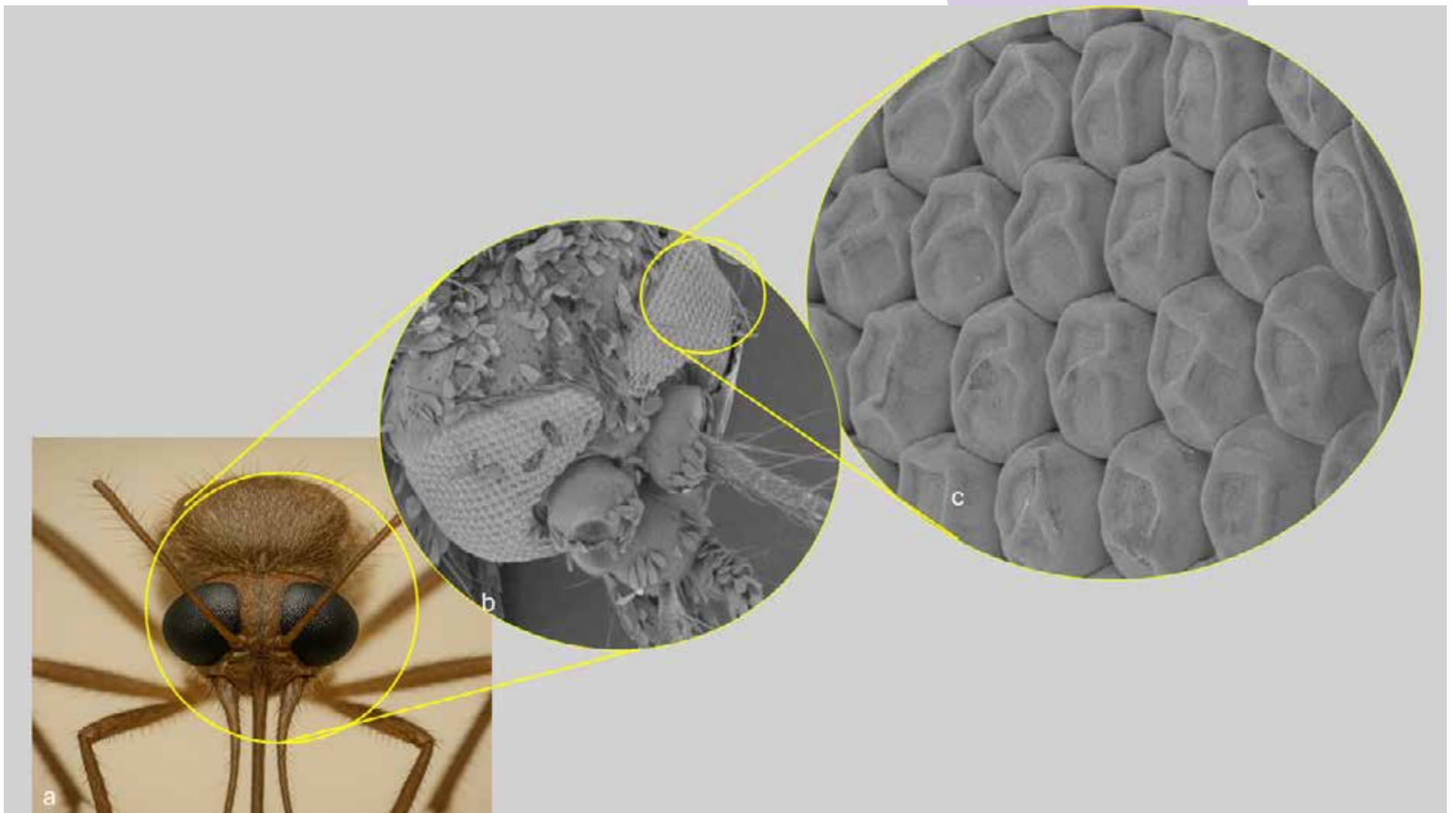
## Una apariencia tridimensional

La microscopía electrónica de barrido (MEB) nos permite conocer estos sistemas visuales con un nivel de detalle imposible de alcanzar a simple vista. La MEB es una técnica de caracterización que revela la morfología de los materiales con una gran profundidad de campo, lo que significa que podemos ver enfocados simultáneamente distintos planos de una muestra no plana, lo que facilita una apariencia tridimensional de las estructuras tal cual la verían nuestros ojos.

La formación de imágenes por microscopía electrónica se genera cuando un electrón en el haz primario interactúa con un electrón en los átomos de la muestra, y lo saca de su órbita con cierta cantidad de energía cinética. Esta señal, en consecuencia, lleva información principalmente del relieve o topografía de la muestra permitiendo su caracterización morfológica e incluso química (Goldstein et al., 1981).

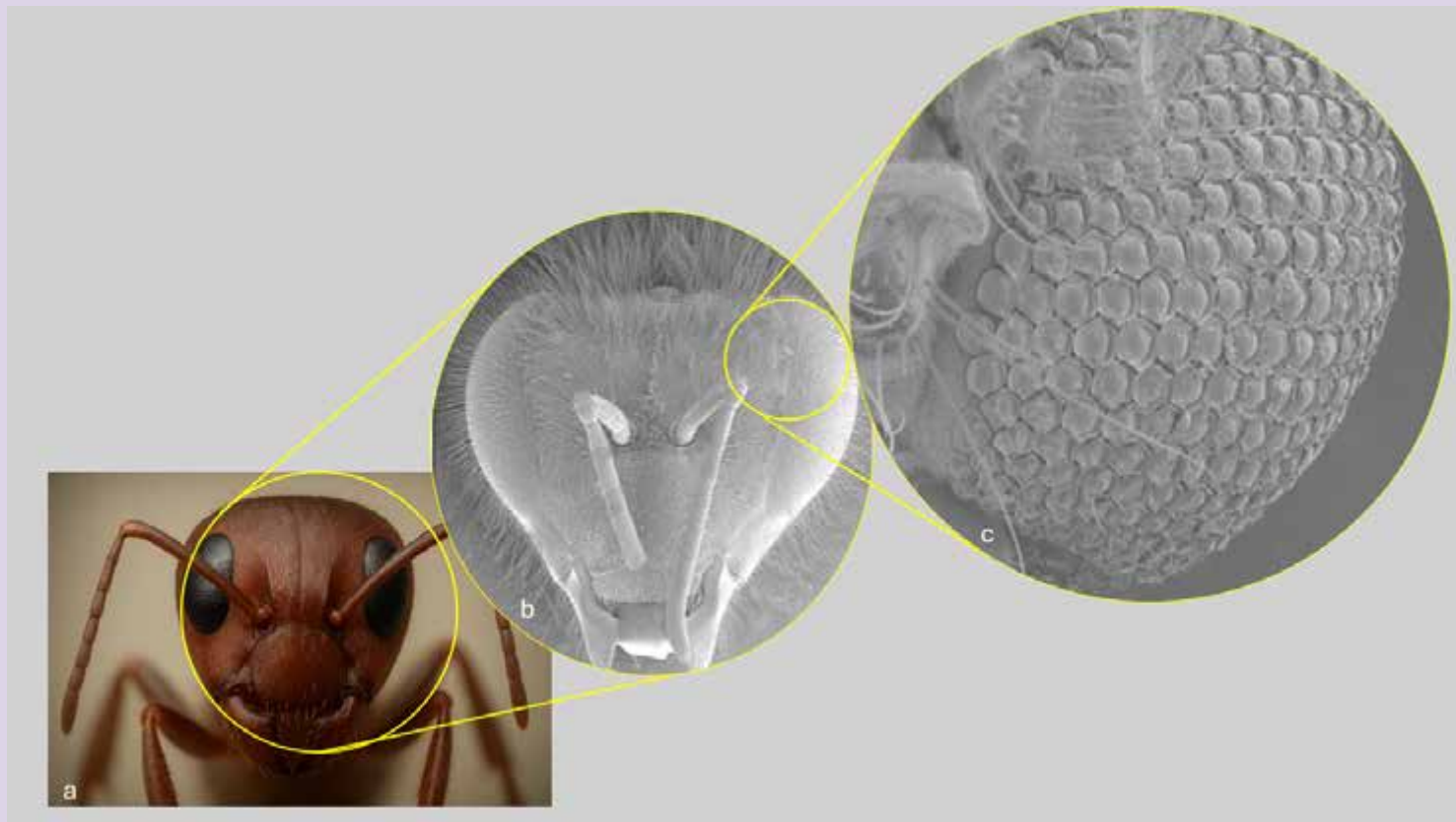
Otra de las ventajas de esta técnica de caracterización es que puede alcanzar una gran magnificación y resolución, que va desde 20X hasta 1000000X, lo que permite hacer observaciones en escalas micrométricas y nanométricas.

En las microfotografías obtenidas de los ojos de zancudos (Figura 1), hormigas (Figura 2) y arácnidos (Figura 3), se aprecia detalladamente la estructura de estas unidades visuales. En el caso de los insectos (zancudos y arañas) se evidencian las microestructuras hexagonales y organizadas periódicamente para captar señales visuales en amplios ángulos. Estas estructuras, con su diseño natural, son la clave de funciones ópticas sofisticadas como la reducción de reflejos, la filtración selectiva de luz y la detección de polarización.



**Figura 1.** Ojo compuesto de zancudo

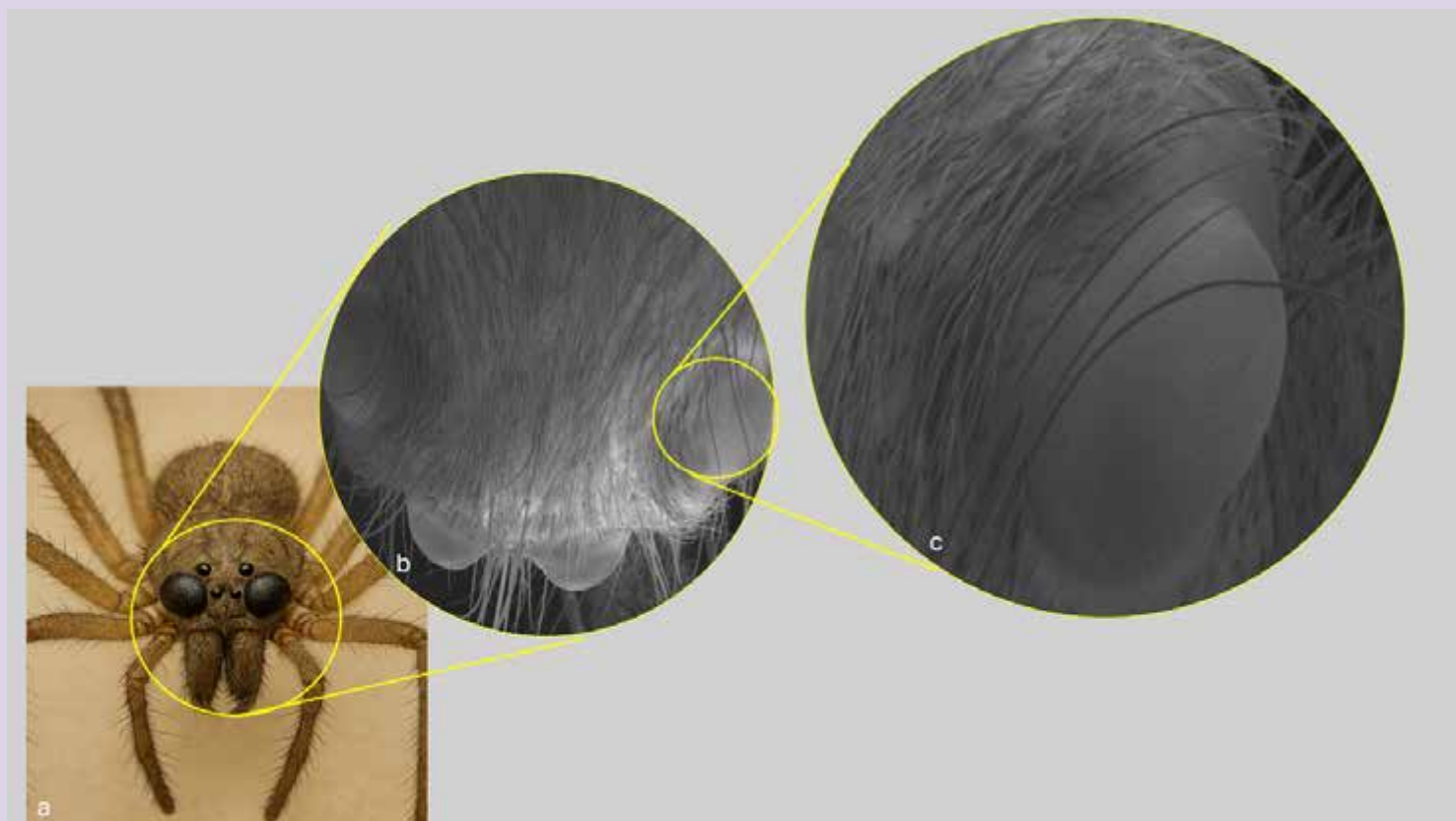
**a:** Imagen macro de la cabeza de un zancudo con énfasis en los ojos, estilo científico. OpenAI (2025), imagen generada por inteligencia artificial en ChatGPT.  
**b y c:** Imágenes propias de microscopía electrónica de barrido, obtenidas en el Laboratorio de Microscopía del ITM.



**Figura 2.** Omatidios de hormiga

**a:** Imagen macro de la cabeza de una hormiga con énfasis en los ojos, estilo científico. OpenAI (2025), imagen generada por inteligencia artificial en ChatGPT.

**b y c:** Imágenes propias de microscopía electrónica de barrido, obtenidas en el Laboratorio de Microscopía del ITM.



**Figura 3.** Ocelos de araña (vista MEB)

**a:** Imagen macro de la cabeza de una araña con énfasis en los ojos, estilo científico. OpenAI (2025), imagen generada por inteligencia artificial en ChatGPT.

**b y c:** Imágenes propias de microscopía electrónica de barrido, obtenidas en el Laboratorio de Microscopía del ITM.

En contraste, las arañas no tienen ojos compuestos, sino que cuentan con varios ocelos distribuidos en su cefalotórax. El número y disposición varían entre especies, pero en general combinan ojos principales para la visión de detalle y ojos secundarios especializados en captar movimiento periférico. En la figura 3 es posible observar que los ojos se muestran como esferas suaves y brillantes, rodeadas de pelos sensoriales que detectan vibraciones y corrientes de aire, sumando a su capacidad de percibir el entorno.

Las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido nos permiten conocer con precisión y detalle una realidad cotidiana invisible a simple vista: nos facilita el estudio de los sistemas visuales en insectos y arácnidos no solo desde el punto de vista morfológico, sino también desde los principios físicos y biológicos que las sustentan, constituyendo soluciones altamente especializadas en múltiples aplicaciones ingenieriles.

Este conocimiento nos ayuda a entender cómo nos perciben ellos y simultáneamente nos ofrece una nueva perspectiva para entender y reinterpretar nuestro propio entorno.

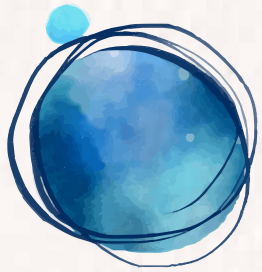
**Los ojos de insectos y arácnidos son obras maestras de ingeniería natural.**



## Referencias

1. Chen, H., Zhang, X., Zhou, T., Hou, A., Liang, J., Ma, T., Xie, K., and Gao, A. (2024). A Tunable Hydrophilic–Hydrophobic, Stimulus Responsive, and Robust Iridescent Structural Color Bionic Film with Chiral Photonic Crystal Nanointerface. *Small*, 20(37), 2311283. <https://doi.org/10.1002/sml.202311283>
2. Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Echlin, P., Joy, D. C., Fiori, C., and Lifshin, E. (1981). *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis. A Text for Biologists, Materials Scientists, and Geologists*. (2nd ed.). Plenum Press.
3. Kang, S. M., Jang, S., Lee, J. K., Yoon, J., Yoo, D. E., Lee, J. W., Choi, M., and Park, N. G. (2016). Moth-Eye TiO<sub>2</sub> Layer for Improving Light Harvesting Efficiency in Perovskite Solar Cells. *Small*, 12(18), 2443-2449. <https://doi.org/10.1002/sml.201600428>
4. Li, Y., Feng, L., Li, J., Li, X., Chen, J., Wang, L., Qi, D., Liu, X., and Shi, G. (2021). Fabrication of an Insect-Like Compound-Eye SERS Substrate with 3D Ag Nano-Bowls and its Application in Optical Sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 330, 129357. <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2020.129357>
5. Pichaud, F., and Casares, F. (2022). Shaping an Optical Dome: The Size and Shape of the Insect Compound Eye. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 130, 37-44. <https://doi.org/10.1016/J.SEMC-DB.2021.11.002>
6. Ran, Z., Ruofan, W., Yuanyi, F., Jinkui, C., Chuanlong, G., Dehao, C., and Rencheng, J. (2025). Multilayer Al Grid Metasurface Bionic Layer /Graphene Stack Structure for High-Performance Polarization Detection. *Optics and Lasers in Engineering*, 184, 108565. <https://doi.org/10.1016/J.OPTLASENG.2024.108565>
7. Wang, D., Ping, T., Du, Z., Liu, T., and Zhang, Y. (2025). Progress and Prospect of Biomimetic Optical Materials: A Review. *Biogeotechnics*, 3(3), 100167. <https://doi.org/10.1016/J.BGTECH.2025.100167>
8. Zhao, M. Z., Hu, Z. Y., An, R., Yu, Y. H., Liu, X. Q., Tian, Z. N., and Chen, Q. D. (2025). Biologically Inspired Miniature Compound Eye Camera for High-Contrast and Wide-FOV Imaging of Dynamic Targets. *Optics & Laser Technology*, 188, 113008. <https://doi.org/10.1016/J.OPTLASTEC.2025.113008>
9. Zhou, K., Yuan, Y., Wang, C., and Chen, J. (2024). Large-Area Broadband Ultralow Reflectance Biomimetic Structures Silicon Via Femtosecond Laser Inducing and Chemical Etching. *Journal of Manufacturing Processes*, 132, 122-129. <https://doi.org/10.1016/J.JMA-PRO.2024.10.079>





# De las algas a la bioingeniería

Avances en materiales biocompatibles

**Magdelly Stephanya España Villota<sup>1</sup>**

**Robison Buitrago-Sierra<sup>2</sup>**

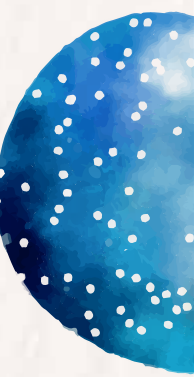
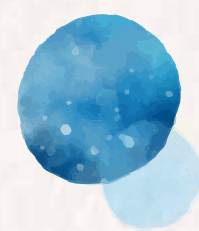
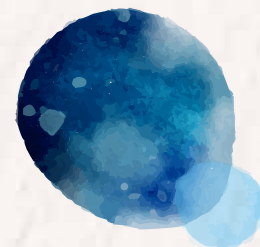
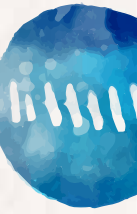
<sup>1</sup> Estudiante, Grupo Materiales Avanzados y Energía, Facultad de Ingenierías, Institución Universitaria ITM.

<sup>2</sup> Docente, Grupo Materiales Avanzados y Energía, Facultad de Ingenierías, Institución Universitaria ITM.



Fuente: Mollyroselee. Pixabay. Licencia libre.

**Aunque durante años los científicos han dedicado sus fuerzas para conocer los ecosistemas terrestres, hoy en día, gracias a su biodiversidad y a los avances tecnológicos que han permitido su exploración, los ecosistemas acuáticos han despertado cada vez más el interés de los investigadores.**



Estos entornos fascinantes ofrecen al mundo una fuente de materia prima innovadora con potencial aplicación en la industria, la medicina y el sector energético.

Las algas son un conjunto fascinante de organismos fotosintéticos que, pese a no estar emparentados taxonómicamente, constituyen más de un millón de especies, cuya variedad se refleja en su estructura y su tamaño, que va desde los 0.5  $\mu\text{m}$  de diámetro de la cianobacteria marina *Prochlorococcus*, hasta los 60 m de longitud de la *Macrocystis* parda bentónica marina.

Y aunque la vasta mayoría de las algas vive de forma libre, un número nada desdeñable se relaciona simbióticamente con otros organismos

sobre los que crecen, como las esponjas, los nidarios o, créalo o no, la piel de los osos perezosos (Ai et al., 2023).

### Las algas: fábricas biológicas

Las algas son organismos fotosintéticos extraordinarios que producen una notable cantidad de compuestos bioactivos, como el alginato, que se utiliza en las industrias farmacéutica y alimentaria; el carragenano, que se emplea en textiles y productos alimenticios; y el agar, un medio de cultivo indispensable en microbiología. Además, las algas son la base de la talasoterapia y una fuente prometedora para la producción de biocombustibles como el biodiésel y el biogás (Bartolini et al., 2022).



Figura 1. Algas marinas

Foto: Kindel Media. Pexels. Licencia libre.

## Las cianobacterias

El selecto club de las algas incluye formas unicelulares y pluricelulares, microscópicas (microalgas) y macroscópicas (macroalgas). Las cianobacterias son microalgas conocidas por su versatilidad y por producir metabolitos primarios como proteínas, polisacáridos, lípidos, vitaminas y pigmentos.

El término *ciano* alude a su color azul característico, que resulta de la presencia de ficocianina, un pigmento fotosintético de ese color. Pero también hay otros pigmentos como la ficoeritrina, que absorbe la región verde del espectro electromagnético; la clorofila *a*, que cataliza las reacciones fotoquímicas de la fotosíntesis en todos los organismos fotosintéticos; y la clorofila *d*, que absorbe algo de radiación en el infrarrojo cercano.

Las cianobacterias pueden realizar fotosíntesis oxigénica, anoxigénica y fermentación. Esta versatilidad las convierte en productoras de compuestos bioactivos con propiedades antibacterianas, antivirales y anticancerígenas, asociadas a la competencia por recursos y espacio entre las cianobacterias y otros microorganismos durante las floraciones algales (Abed et al., 2009).

Gracias a su versatilidad metabólica, se han encontrado múltiples aplicaciones para las cianobacterias, como la producción de bioplásticos como el polihidroxicanoato PHA, que se acumula en forma de gránulos en el citoplasma celular en condiciones mixotróficas específicas limitantes de nitrógeno. También participan en procesos de biorremediación, donde forman consorcios con otras especies bacterianas y proporcionan oxígeno, nitrógeno y compuestos orgánicos simples que facilitan la limpieza de sedimentos y aguas residuales contaminadas con petróleo.

También son útiles en la producción de combustibles, ya que pueden producir hidrógeno en biorreactores como subproducto de la fijación de nitrógeno, proceso que realizan mediante estructuras especializadas llamadas heterocistos. Asimismo, contribuyen a la fertilización al incorporar nitrógeno al suelo y representan una valiosa fuente de

proteínas, lípidos, polisacáridos y pigmentos con potencial uso en la producción de fármacos y alimentos (Abed et al., 2009).

## La espirulina: la cianobacteria más famosa

La espirulina (género *Arthrospira*) es un organismo con forma de espiral compuesto por proteínas (60-70 %) y polisacáridos (15-20 %) y por otros compuestos con actividad biológica como ácidos grasos insaturados, aminoácidos, carotenoides y compuestos fenólicos. Estos compuestos son responsables de diferentes actividades biológicas como las funciones antioxidantes, anticancerígena y neuroprotectora (Bartolini et al., 2022).

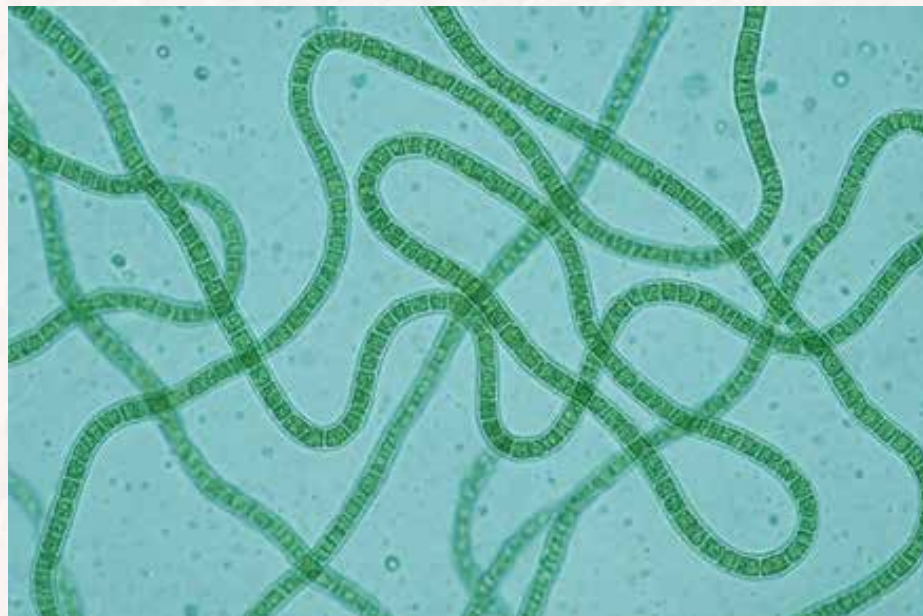
Debido a su largo historial de uso, la biomasa de espirulina es considerada segura por parte de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos, la Unión Europea y países como Canadá, China, India y Japón. Se puede encontrar y comercializar comúnmente en el mercado en forma de polvo seco, cápsulas y tabletas.

De igual forma, la espirulina es una de las microalgas más cultivadas en el mundo y, según un informe publicado por Allied Market Research, su mercado global alcanzó los USD 393.6 millones en 2019, y se espera que para 2028 alcance los USD 968.6 millones. En términos de volumen, se proyecta que su mercado alcance casi cien mil toneladas para 2028 (Bartolini et al., 2022).



Para el cultivo de espirulina a gran escala, generalmente se utilizan sistemas abiertos de diferentes dimensiones como estanques naturales y lagos. Sin embargo, también se puede cultivar en sistemas cerrados llamados biorreactores, una forma más controlada que evita la contaminación con otras especies algales (Thevarajah et al., 2022).

La espirulina o sus extractos se usan principalmente como suplemento proteico en alimentos funcionales. Además, aportan compuestos funcionales como fenoles y carotenoides, y pigmentos naturales. Su versatilidad también ha permitido incorporarla como aditivo para el desarrollo de productos médicos, químicos, cosméticos y farmacéuticos a los que confiere propiedades probióticas, antitumorales, antioxidantes, neuroprotectores e hipolipidémicos (Cheng et al., 2024).



**Figura 2.** OpenAI. (2025). *Imagen de cianobacterias vistas al microscopio*

**Fuente:** imagen generada por inteligencia artificial, DALL·E. ChatGPT. <https://openai.com/dall-e>

## *Polisacáridos y biomateriales: medicina regenerativa*

Los polisacáridos de la espirulina cumplen una notable gama de acciones biológicas: son anticancerígenos, inmunomoduladores, antioxidantes y antibacterianos (Ai et al., 2023). De hecho, su actividad biológica es aún más potente que la del organismo completo, lo que los convierte en candidatos ideales para aplicaciones biomédicas, especialmente en el desarrollo de biomateriales (materiales extraídos o sintetizados de organismos vivos) o de materiales naturales o sintéticos que interactúan con sistemas biológicos para fines médicos (Yang et al., 2024).

Los biomateriales se pueden modificar e hibridar para mejorar sus propiedades. La hibridación se realiza para formar materiales compuestos que pueden tener matriz metálica, cerámica o polimérica (Yang et al., 2024). Entre los polímeros sintéticos biocompatibles están la policaprolactona (PCL), el polietilenglicol (PEG), el poliácido láctico (PLA) y el alcohol polivinílico (PVA), que se destaca por su estabilidad y resistencia química, transparencia, capacidad de formación de película, propiedades adhesivas y emulsionantes, bajo costo, alta resistencia y flexibilidad (Li et al., 2023). Por estas razones se utiliza en una variedad de aplicaciones, incluida la administración de fármacos, dispositivos médicos y la ingeniería de tejidos (Yang et al., 2024).

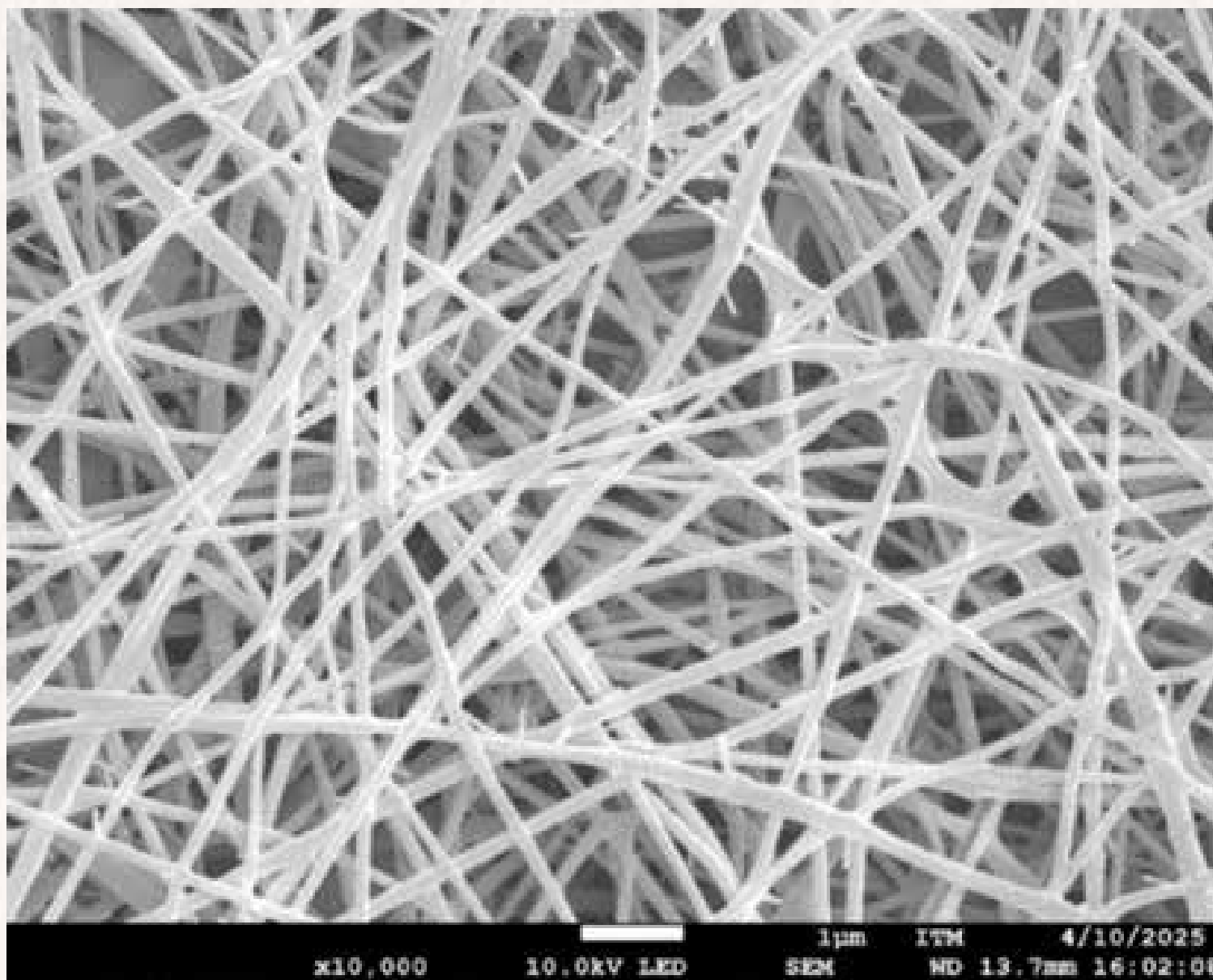
**Las cianobacterias son organismos microscópicos muy adaptables que fabrican proteínas, vitaminas y pigmentos valiosos**

El desarrollo de biomateriales evolucionó a la ingeniería de tejidos, que combina andamios, células y moléculas biológicamente activas para crear tejidos funcionales que restauren los tejidos dañados. Los andamios, en particular, son cruciales debido a que son estructuras que imitan la matriz extracelular natural del cuerpo, proporcionando un molde para que las células se adhieran, crezcan y formen nuevo tejido (Yang et al., 2024).

Una técnica innovadora para la fabricación de andamios es el electrohilado, que usa electricidad para estirar el polímero hasta formar pequeñas fibras que se asemejan a las fibras de colágeno de la matriz extracelular. Por eso, se consideran potenciales soportes para la reconstrucción del tejido nuevo (Tang et al., 2024).

La necesidad de avanzar en la búsqueda de nuevos biomateriales es urgente, porque la recuperación de un tejido dañado implica altos costos en el sistema de salud. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que cerca de 2400 millones de personas viven con enfermedades crónicas como la diabetes y las enfermedades cardiovasculares, por lo que son necesarias soluciones regenerativas, como los andamios.

Particularmente, los trastornos musculoesqueléticos afectan a alrededor de 1710 millones de personas en el mundo, lo que incluye más de 440 millones de fracturas, 570 millones con dolor lumbar, 528 millones con osteoartritis y 18 millones que sufrirán de artritis reumatoide, lo que agudiza la necesidad de materiales estructurales que soporten y promuevan la regeneración tisular (Chacko and Shivarkar, 2024).



**Figura 3.** Foto SEM de un andamio de PVA y Espirulina (tomada en el laboratorio de Microscopía del ITM)  
**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 4.** OpenAI. (2025). *Imagen de ingeniería de tejidos*  
**Fuente:** imagen generada por inteligencia artificial,  
 DALL-E. ChatGPT. <https://openai.com/dall-e>

Asimismo, las heridas cutáneas crónicas son una problemática preocupante que afecta entre el 1 y el 2 % de la población, debido a que pueden ser causadas por cirugía, quemaduras y úlceras derivadas de patologías, lo que equivale a millones de personas que presentan lesiones de difícil cicatrización, con consecuencias médicas, sociales y económicas graves. En Estados Unidos, anualmente, más de 5.7 millones de personas sufren estas heridas, mientras que en China la cifra supera los 50 millones.

Este panorama revela que las afecciones del tejido son un desafío médico creciente, lo que justifica la investigación en el desarrollo de nuevos materiales para la ingeniería de tejidos. Aquí entran en juego los polisacáridos de espirulina, dado que sus propiedades inmunomoduladoras, antibacterianas y antioxidantes, mezcladas con una matriz polimérica biocompatible como el PVA, no solo evitarían el rechazo del cuerpo, sino que también promoverían activamente la regeneración de tejido como una promesa para la medicina regenerativa de origen natural (Cheng et al., 2024).

## Referencias

1. Abed, R. M., Dobretsov, S., and Sudesh, K. (2009). Applications of Cyanobacteria in Biotechnology. *Journal of applied microbiology*, 106(1), 1-12. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03918.x>
2. Ai, X., Yu, P., Li, X., Lai, X., Yang, M., Liu, F., Luan, F., and Meng, X. (2023). Polysaccharides from *Spirulina platensis*: Extraction Methods, Structural Features and Bioactivities Diversity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 231, 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123211>
3. Bartolini, D. G., Maciel, G. M., Fernandes, I. D. A. A., Pedro, A. C., Rubio, F. T. V., Branco, I. G., and Haminiuk, C. W. I. (2022). Functional Properties of Bioactive Compounds from *Spirulina* Spp.: Current Status and Future Trends. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 5, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100134>
4. Chacko, K., and Shivarkar, A. (2024). *Tissue Engineering Market Size, Innovation and Investment Trends*. Towards Healthcare. <https://www.towardshealthcare.com/insights/tissue-engineering-market-sizing>
5. Cheng, K., Deng, Y., Qiu, L., Song, S., Chen, L., Wang, L. G., and Yu, Q. (2024). Heparin-Loaded Hierarchical Fiber/Microsphere Scaffolds for Anti-Inflammatory and Promoting Wound Healing. *Smart Materials in Medicine*, 5(2), 240-250. <https://doi.org/10.1016/j.smaim.2024.02.002>
6. Li, H., Wu, C., Yu, X., and Zhang, W. (2023). Recent Advances of PVA-based Hydrogels in Cartilage Repair Application. *Journal of Materials Research and Technology*, 24, 2279-2298. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.03.130>
7. Tang, Z., Li, J., Fu, L., Xia, T., Dong, X., Deng, H., Zhang, C., and Xia, H. (2024). Janus Silk Fibroin/Polycaprolactone-Based Scaffold with Directionally Aligned Fibers and Porous Structure for Bone Regeneration. *International Journal of Biological Macromolecules*, 262, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129927>
8. Thevarajah, B., Nishshanka, G. K. S. H., Premaratne, M., Nimarshana, P. H. V., Nagarajan, D., Chang, J. S., and Ariyadasa, T. U. (2022). Large-Scale Production of *Spirulina*-based Proteins and C-Phycocyanin: A Biorefinery Approach. *Biochemical Engineering Journal*, 185, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108541>
9. Yang, X.-y, Cao, H.-m, and Li, X. (2024). Fabricated Soft Materials for Cell Biology and Tissue Engineering Applications: A Review. *Materials Today Communications*, 38, 108563. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.108563>

# Recomendados

## Conversaciones en la U



### Un encuentro literario entre Alejandro Villa y Pablo Montoya

Acompaña a Pablo Montoya y a Alejandro Villa (rector del ITM) a darle una mirada íntima al poder, la filosofía y la literatura.



### Una tertulia amistosa entre Alejandro Villa y Carlos Framb

Revive esta conversación entre Carlos Framb y Alejandro Villa Gómez (rector del ITM) sobre literatura, ciencia, poesía y viajes.



### Desde la Biblioteca n.º 64

Medellín celebra 350 años y *Desde la Biblioteca* n.º 64 lo conmemora con ocho voces que hablan sobre su historia, transformación y futuro.

Claudia Restrepo | Cristóbal Peñáz | David Escobar | Juan Mosquera | Luis Fernando González | Luz María Sierra | María del Rosario Escobar | Tomás Elejalde

# agua

## Electrodo de disco

### rotatorio

Avances, desafíos y proyecciones en  
aplicaciones electroquímicas

**Manuela Agudelo Calderón<sup>1</sup>**

**Andrés Felipe Vargas Ramírez<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Estudiante, Semillero Chemtrónica, Química Industrial,  
Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Institución  
Universitaria ITM.

<sup>2</sup> Docente, Semillero Chemtrónica, Química Industrial,  
Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Institución  
Universitaria ITM.



Fuente: Freepik. Licencia libre.

## La contaminación del agua por metales pesados, compuestos orgánicos y otros contaminantes constituye un desafío ambiental y de salud pública a nivel global.

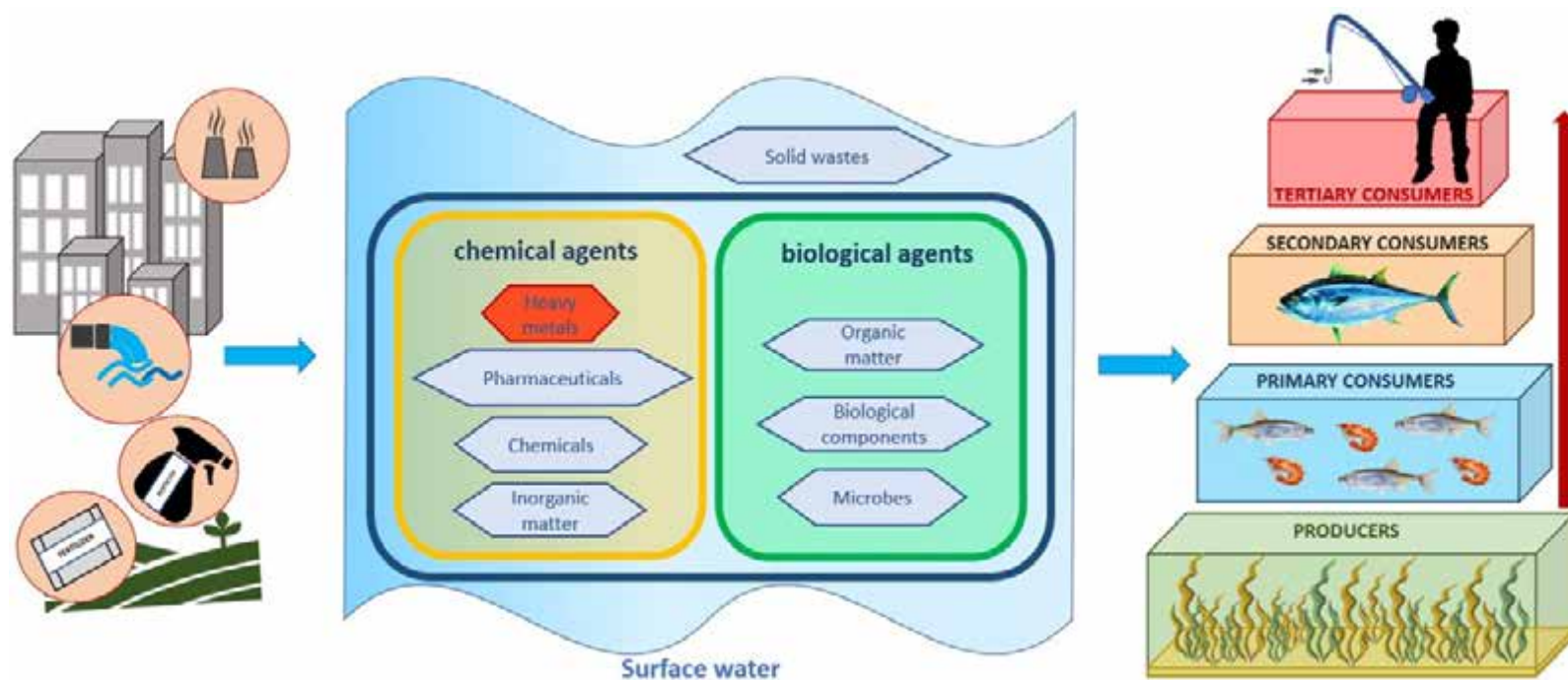
El crecimiento industrial, la urbanización acelerada y la intensificación de la agricultura han incrementado la descarga de metales como plomo, cadmio, mercurio, arsénico y cromo en cuerpos de agua, tanto por fuentes puntuales (minería, industria, vertidos urbanos) como difusas (escorrentía agrícola, deposición atmosférica) [1].

Estos metales, junto con contaminantes orgánicos persistentes, pueden bioacumularse en organismos acuáticos y transferirse a lo largo de la cadena alimentaria, afectando la biodiversidad, la seguridad alimentaria y la salud humana [2]. La figura 1 ilustra cómo los metales pesados y otros contaminantes se transfieren en la cadena trófica y afectan a los ecosistemas acuáticos.

Estudios recientes destacan que la contaminación por metales pesados proviene de actividades industriales y de fuentes naturales como la erosión y la actividad volcánica, aunque el aporte antropogénico es dominante y creciente [1].

La exposición crónica a estos contaminantes se asocia con daños neurológicos, cáncer, alteraciones reproductivas y enfermedades renales, incluso en bajas concentraciones [2]. Además, la contaminación afecta de manera desproporcionada a comunidades vulnerables y regiones con acceso limitado a tecnologías de tratamiento avanzadas.

A nivel global, se observa una tendencia al aumento de concentraciones de metales en ríos y lagos como el cadmio, el cromo, el cobre y el



**Figura 1.** Impacto de diferentes grupos de contaminantes tóxicos, incluidos los metales pesados, que ingresan con aguas residuales a cuerpos de agua superficiales, tomado de [1].

níquel, especialmente en Asia y África, mientras que en Europa se han logrado reducir algunos contaminantes mediante regulaciones estrictas y tecnologías de tratamiento [3]. La variabilidad estacional y la influencia del cambio climático agravan la problemática y alteran la movilidad y toxicidad de los contaminantes [1], [2].

Frente a la ineficacia y el alto costo de los métodos convencionales de remoción y detección de contaminantes (la precipitación, filtración e intercambio iónico), recientes investigaciones se han enfocado en tecnologías más eficientes y sostenibles, tal como la electroquímica, que ha permitido el estudio de mecanismos de reacción, corrosión, catálisis y sensores electroquímicos, llevando a cabo procesos de oxidación avanzada y el desarrollo de dispositivos portátiles, sensibles y de bajo costo para la determinación de metales pesados y compuestos orgánicos en campo.

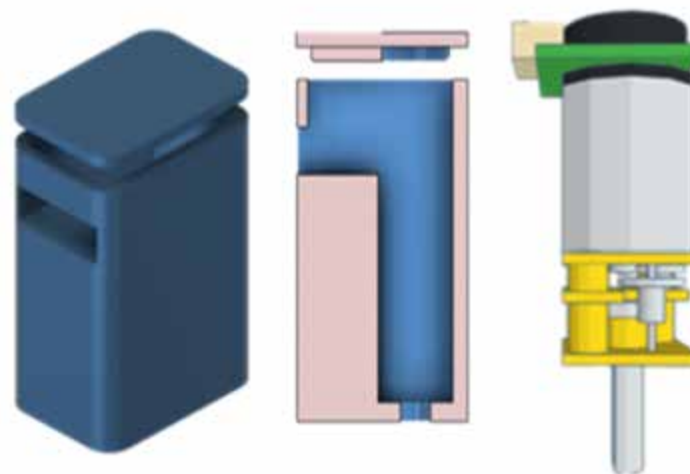
**Por eso, han surgido tecnologías electroquímicas como el electrodo rotatorio de disco (RDE), que ha sido clave para la eliminación de contaminantes y para el estudio de mecanismos electroquímicos.**

El RDE también se destaca por su capacidad para controlar el transporte de masa mediante la rotación y separar los efectos cinéticos por difusión, lo que permite la determinación de parámetros, tales como constantes de velocidad y coeficientes de difusión [4], [5].

Estas innovaciones son especialmente relevantes para el monitoreo en regiones rurales o en países en desarrollo. No obstante, los sistemas comerciales suelen tener costos elevados, lo que limita su uso en entornos educativos y comunitarios donde la infraestructura y portabilidad son limitadas y, por esto, la simplicidad y bajo costo de los sensores electroquímicos representan ventajas clave frente a los métodos tradicionales [6].

En los últimos años, los avances en tecnologías de fabricación —como la impresión 3D— y la creciente demanda de soluciones energéticas y

medioambientales han impulsado la innovación en el diseño y las aplicaciones del RDE. Estas incluyen el desarrollo de electrocatalizadores, el análisis de reacciones complejas y la integración en procesos industriales y energéticos.



**Figura 2.** Diseño en Fusion Autodesk 360 de la estructura de soporte para el motor, elaboración propia.

## Diseño y fabricación del RDE

Para el diseño del electrodo rotatorio generalmente se emplea el *software* de modelado CAD Fusion Autodesk 360, que permite a docentes, estudiantes e instituciones acceder a sus funciones con fines de enseñanza e investigación académica. Como se muestra en la figura 2, este programa permite diseñar fácilmente cada parte del electrodo y, posteriormente, visualizar y verificar que todas las piezas se acoplen correctamente antes de imprimirlas en 3D.

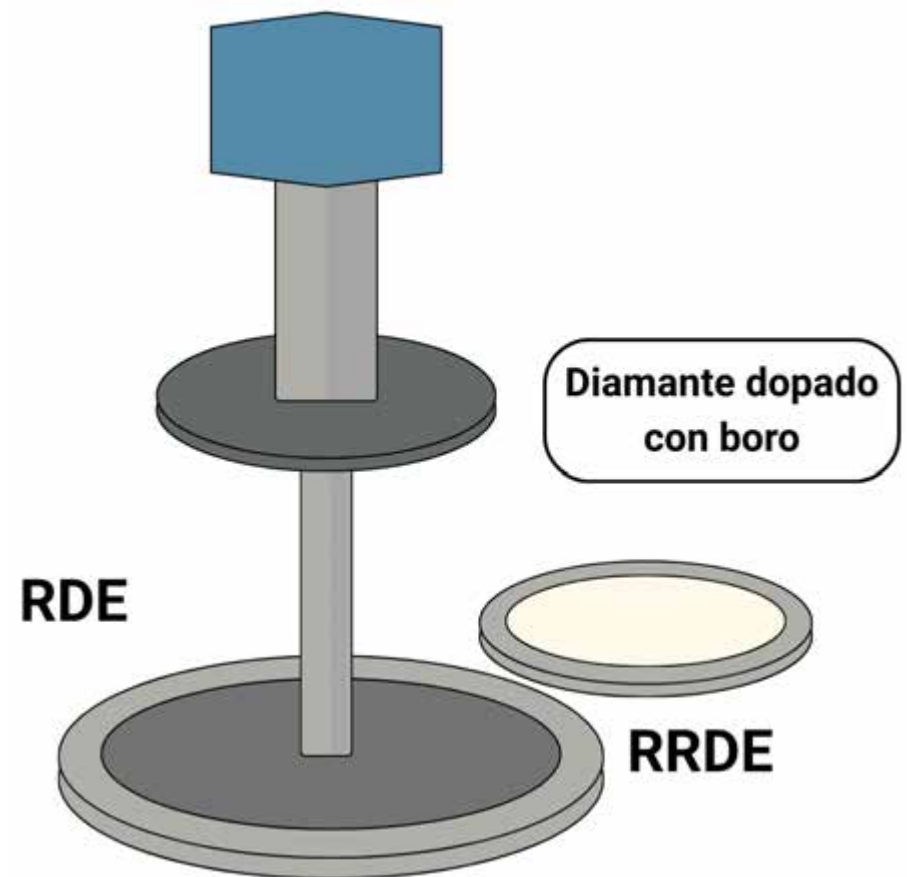
La impresión 3D ha sido adaptada para la fabricación de RDE para permitir la optimización de costos inferior al 2 % de los sistemas electroquímicos comerciales, sin afectar su precisión ni su reproducibilidad. Además, se pueden personalizar los dispositivos a las necesidades experimentales requeridas [4].

Para la impresión de los componentes de la estructura del RDE se han empleado materiales, tales como el polietileno tereftalato glicol (PETG) y el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), ya que

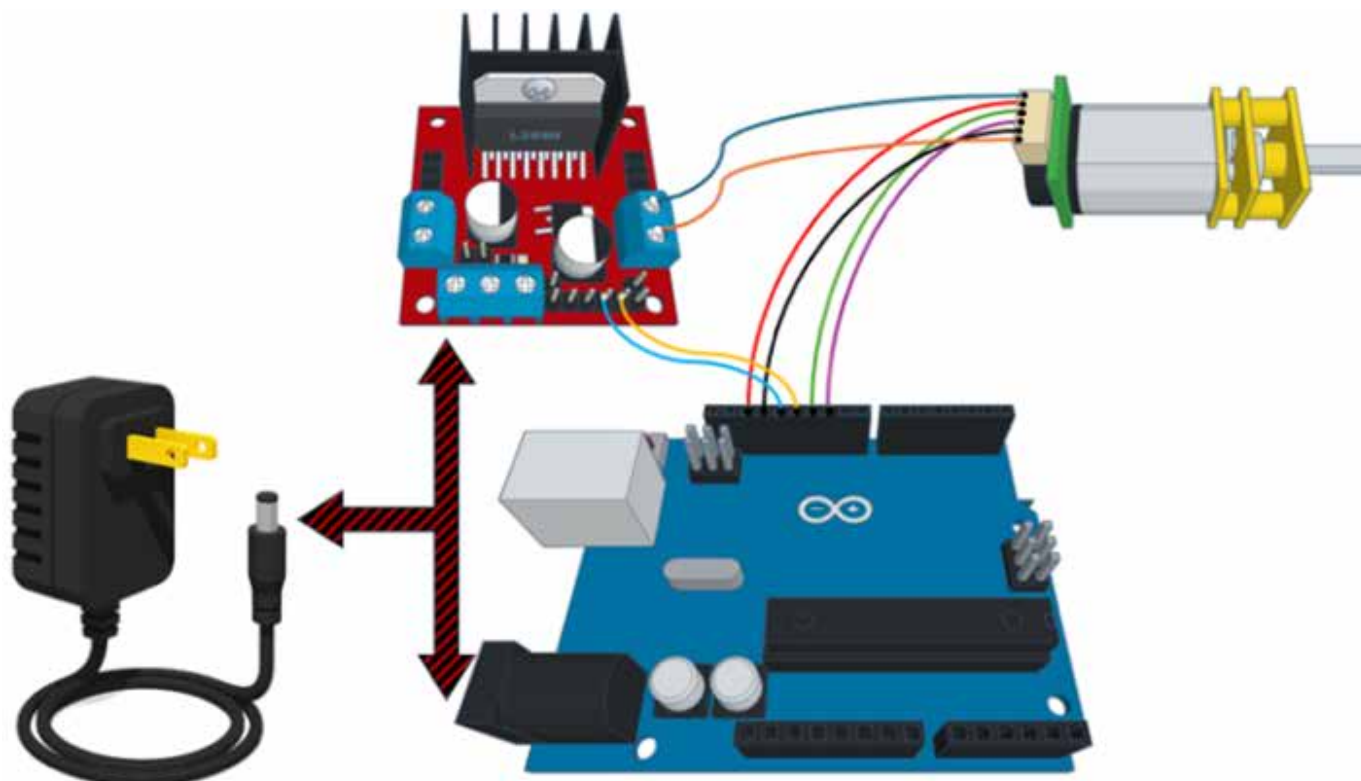
tienen una alta resistencia mecánica y térmica. Por otra parte, en la superficie activa del electrodo tiene lugar el intercambio de electrones, ya que se da la reacción electroquímica. Por eso, se requieren materiales conductores, como el negro de carbono, el grafeno o, en algunos casos, se insertan discos de oro, diamante dopado con oro y platino, según la aplicación necesitada [4], [5].

Para el conductor interno del sistema (figura 3), que es la pieza que conecta la electricidad entre la superficie activa del electrodo con el equipo de medida, generalmente se usan materiales como cobre o latón, ya que son materiales de excelente conductividad eléctrica, de bajo costo y de fácil adquisición [7].

En la electrónica del RDE impreso en 3D, se usan microcontroladores como Arduino, que puede recibir instrucciones desde una computadora o una pantalla integrada. En la figura 4 se evidencia cómo se puede controlar y ajustar la velocidad de rotación del motor que hace girar el electrodo y, a su vez, permite el registro de la corriente y el potencial obtenidos durante un experimento de manera precisa [4].



**Figura 3.** Esquema de RDE y RRDE en fabricación aditiva 3D con diamante dopado con boro, elaboración propia adaptada de [7].



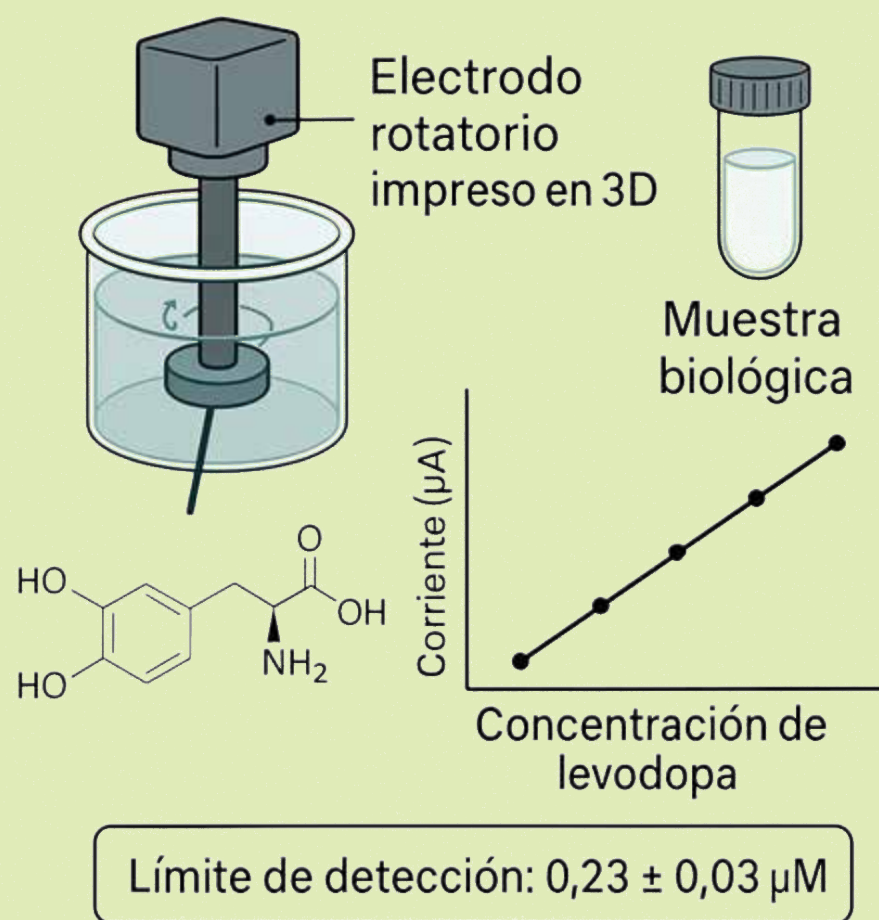
**Figura 4.** Circuito de control basado en Arduino, elaboración propia adaptada de [4].

## Aplicaciones electroquímicas

### Uso del electrodo de disco rotatorio impreso en 3D para el análisis farmacéutico y biomédico

El electrodo de disco rotatorio (RDE) ha encontrado aplicaciones emergentes y relevantes en el campo de la farmacología y la biomedicina, especialmente en el desarrollo y validación de métodos analíticos para la determinación de fármacos y biomarcadores en matrices biológicas.

Un ejemplo destacado es la determinación electroanalítica de levodopa (figura 5), un medicamento importante en el tratamiento de la enfermedad de Parkinson. Utilizando RDE fabricados mediante impresión 3D, se ha logrado detectar levodopa con límites de detección tan bajos como  $0.23 \pm 0.03 \mu\text{M}$ , resultados semejantes a los obtenidos con electrodos comerciales de vidrio carbono, pero a una fracción del costo y con la posibilidad de personalización del dispositivo [4].



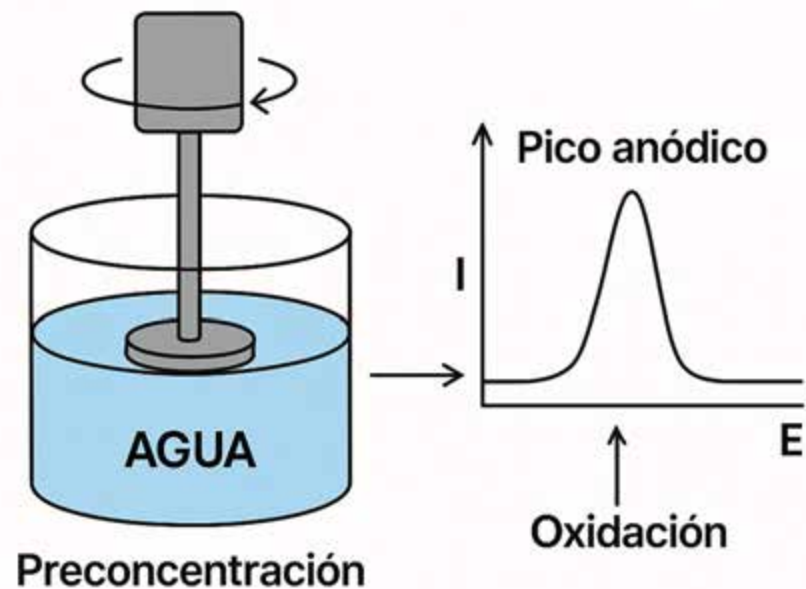
**Figura 5.** Detección electroquímica de la levodopa mediante RDE, elaboración propia adaptada de [4].

## Remediación y tratamiento de aguas residuales industriales

En el tratamiento de aguas residuales, el RDE se ha integrado en reactores electrolíticos avanzados, como el reactor de disco bipolar rotatorio (RBDE), para la degradación eficiente de contaminantes orgánicos y colorantes presentes en aguas residuales textiles.

La rotación del electrodo incrementa la turbulencia y el transporte de masa, mejorando la eficiencia de remoción de demanda química de oxígeno (DQO), color y sólidos suspendidos totales (TSS). Por ejemplo, en el tratamiento de aguas residuales sintéticas de la industria textil, el RBDE logró una decoloración completa en solo dos minutos y una remoción de DQO del 93.9% en diez minutos, superando ampliamente a los sistemas estáticos [8].

Además, el uso de RDE reduce el consumo energético y minimiza la formación de capas pasivas en la superficie del electrodo, lo que prolonga la vida útil del sistema y reduce los costos operativos.



**Figura 6.** Sistema RDE para la detección electroquímica de metales pesados en muestras de agua natural, elaboración propia adaptada [5], [9].



## DetECCIÓN electroquímica de metales pesados

El RDE impreso en 3D funciona como un sensor, ya que, al girar, mejora la dilución de la muestra y permite que los metales a determinar se depositen en la superficie. Generalmente, los materiales que se emplean para este tipo de electrodos son de plásticos mezclados con metales o grafito a los que, en algunas ocasiones, se les hace un tratamiento adicional con el fin de que estos logren tener más sensibilidad e incluso detecten niveles de partes por billón (ppb) de los metales [9].

El método para la determinación de metales pesados consiste en la preconcentración de los iones metálicos sobre la superficie del electrodo. Posteriormente, se da una oxidación que genera picos anódicos bien definidos, como en muestras de agua natural, donde se han detectado incluso concentraciones bajas.

El electrodo de disco rotatorio es una herramienta adaptable y en constante evolución en el diseño, fabricación y retos experimentales y, por eso, esta integración de nuevas tecnologías electroquímicas permite la exploración desde la investigación básica hasta en procesos industriales a gran escala.

El RDE no solo permite una detección precisa de contaminantes, sino que también contribuye al desarrollo de nuevas tecnologías electroquímicas más eficientes y sostenibles e incluso a implementar estas en regiones de recursos limitados.

Sin embargo, el RDE tiene algunas desventajas, como la desactivación por impurezas y la formación de burbujas en reacciones con evolución de gases. En todo caso, tiene un gran futuro respecto a la personalización de la fabricación aditiva e integración de sensores, lo que permite la colaboración interdisciplinaria y la adopción de tecnologías, generando impacto tanto en la ciencia como en la industria.

En conclusión, el diseño 3D permite la personalización de piezas para la fabricación de un RDE

que cumpla con los requerimientos experimentales; además, además permite validar el diseño antes de su impresión 3D mediante funciones de ensamblaje, a su vez logrando la reducción de costos y tiempos de desarrollo en comparación con los sistemas comerciales.

Además, la parte electrónica y el control del RDE es un componente esencial para el funcionamiento correcto, ya que esto abre la posibilidad de abordar sistemas de automatización e incluso controlar de manera remota, mediante la vinculación a plataformas de monitoreo en tiempo real, lo que sería una gran ventaja en campos como la eliminación de contaminantes, empleando la electroquímica.

## Referencias

- [1] D. Piwowarska, E. Kiedrzyńska, and K. Jaszczyszyn, "A Global Perspective on the Nature and Fate of Heavy Metals Polluting Water Ecosystems, and their Impact and Remediation," Taylor and Francis Ltd, vol. 54, pp. 1436-1458, Febrero 2024. doi: <https://doi.org/10.1080/10643389.2024.2317112>
- [2] K. H. Hama Aziz, F. S. Mustafa, K. M. Omer, S. Hama, R. F. Hamarawf, and K. O. Rahman, "Heavy Metal Pollution in the Aquatic Environment: Efficient and Low-Cost Removal Approaches to Eliminate Their Toxicity: A Review," RSC Adv, vol. 13, no. 26, pp. 17595-17610, Junio 2023. doi: <https://doi.org/10.1039/D3RA00723E>
- [3] Y. Li *et al.*, "Trends and Health Risks of Dissolved Heavy Metal Pollution in Global River and Lake Water from 1970 to 2017," in Reviews of environmental contamination and toxicology, vol. 251, Abril 2019. doi: [https://doi.org/10.1007/398\\_2019\\_27](https://doi.org/10.1007/398_2019_27)
- [4] M. J. Whittingham, R. D. Crapnell, and C. E. Banks, "Additively Manufactured Rotating Disk Electrodes and Experimental Setup," Anal Chem, vol. 94, no. 39, pp. 13540-13548, Octubre 2022, doi: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.analchem.2c02884>
- [5] A. Shnier, T. Velepini, A. Falch, "Low-Cost Rotating Disc Electrode Built Using Accessible Hand Tools and 3D Printing," Science Direct, vol. 21, Marzo 2025. 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2025.e00626>
- [6] Y. Tian, J. Liu, J. Qiao, F. Ge, Y. Yang, and Q. Zhang, "Advancements in Electrochemical Sensing Technology for Heavy Metal Ions Detection," Science Direct, vol. 25, Enero 2025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102204>
- [7] J. J. Tully, Z. Zhang, I. M. Terrero Rodríguez, L. Butcher, and J. V. Macpherson, "Versatile DIY Route For Incorporation of a Wide Range of Electrode Materials into Rotating Ring Disk Electrodes," Anal Chem, vol. 94, no. 27, pp. 9856-9862, Julio 2022, doi: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.analchem.2c01744>
- [8] N. Nippatla and L. Philip, "Performance Evaluation of a Novel Electrolytic Reactor with Rotating and Non-Rotating Bipolar Disc Electrodes for Synthetic Textile Wastewater Treatment," J Environ Chem Eng, vol. 8, p. 103462, Nov. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103462>
- [9] D. P. Rocha, A. L. Squissato, S. M. da Silva, E. M. Richter, and R. A. A. Munoz, "Improved Electrochemical Detection of Metals in Biological Samples Using 3D-Printed Electrode: Chemical/Electrochemical Treatment Exposes Carbon-Black Conductive Sites," Electrochim Acta, vol. 335, Marzo 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2020.135688>

## Cuentos para leer en el microscopio

Yesid Espinosa

Descubre mundos breves pero intensos en esta recopilación de microrrelatos, donde la experiencia humana se revela, confronta y comprende desde nuevas perspectivas.



## Melancolía punk

Alfonso Buitrago

El fotógrafo de guerra Albeiro Lopera, el 9, se enfrenta a una enfermedad terminal y a sus recuerdos en una lucha que abarca cuerpo, mente y corazón.

# NOVEDADES EDITORIAL ITM



Explora nuestro  
catálogo aquí



# UNA TAZA DE CIENCIA

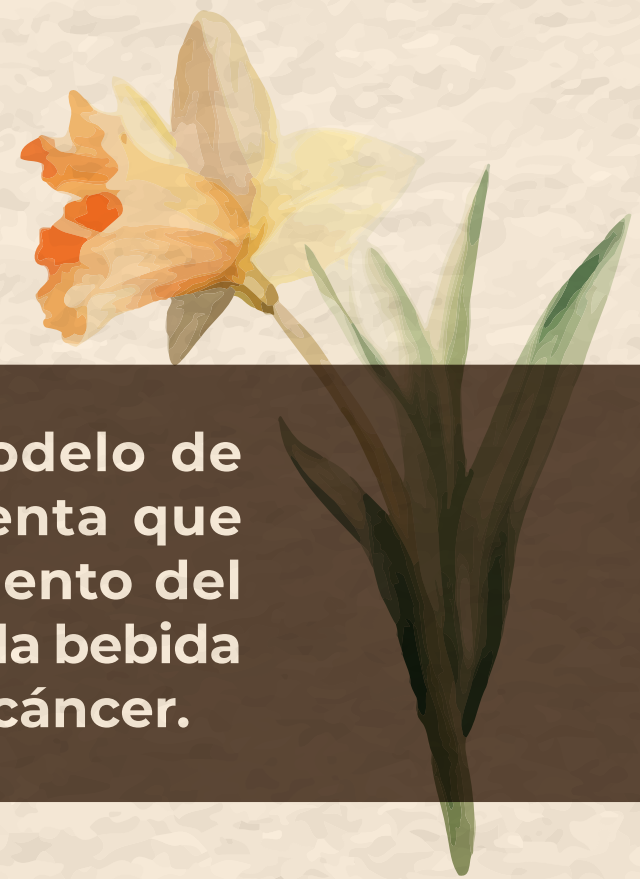
El café colombiano y su potencial en la lucha contra el cáncer

---

**Paula Andrea Buriticá Macías<sup>1</sup>**  
**Sarah Ruth Rothlisberger Booth<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Estudiante, Maestría en Ingeniería Biomédica, Institución Universitaria ITM.  
<sup>2</sup> Docente, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Institución Universitaria ITM.

Fuente: Freepik. Licencia libre.



**Un equipo científico del ITM emplea un modelo de cultivo celular tridimensional, una herramienta que simula de forma más realista el comportamiento del cáncer en el cuerpo humano, para identificar si la bebida más famosa del mundo sirve para prevenir el cáncer.**

**U**n grupo de investigadores del ITM, la Universidad de Antioquia y la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) nos propusimos explorar un nuevo uso para el grano del café: determinar si sus compuestos naturales pueden prevenir o frenar el crecimiento de tumores en el colon y el recto.

### **Una pregunta clara**

Nuestra tesis partió de esta sencilla pregunta: ¿Cómo afectan los compuestos del café al metabolismo de las células de cáncer colorrectal?

El metabolismo comprende miles de procesos bioquímicos que ocurren a diario en las células, y estos producen pequeñas moléculas llamadas metabolitos; estudiarlos posibilita determinar si un organismo o célula está en equilibrio o alterado por una enfermedad.

En el cáncer colorrectal, por ejemplo, las células malignas presentan un metabolismo alterado: captan y procesan nutrientes a un ritmo acelerado, lo que favorece su crecimiento y supervivencia. Estudiar el metaboloma permite identificar cambios en los procesos celulares y, con esto, comprender y potencialmente intervenir en enfermedades complejas como esta.

En el laboratorio de Ciencias Biomédicas del ITM, mediante técnicas de cultivo celular 3D y la extracción de metabolitos para ser analizados con espectrometría de masas acoplada a cromatografía de gases con ionización por electrones (GC-EI-MS), se demostró que el café colombiano tiene el potencial de modular el metabolismo de células de cáncer colorrectal, lo que sugiere un posible valor terapéutico.

A diferencia de los cultivos celulares tradicionales, desarrollados en superficies planas, el cultivo celular tridimensional (3D) permite que las células crezcan formando pequeñas estructuras esféricas llamadas esferoides que imitan, con mayor precisión, la organización y el funcionamiento de las células dentro de un tumor. En estos esferoides, las células se distribuyen en tres capas principales (figura 1).

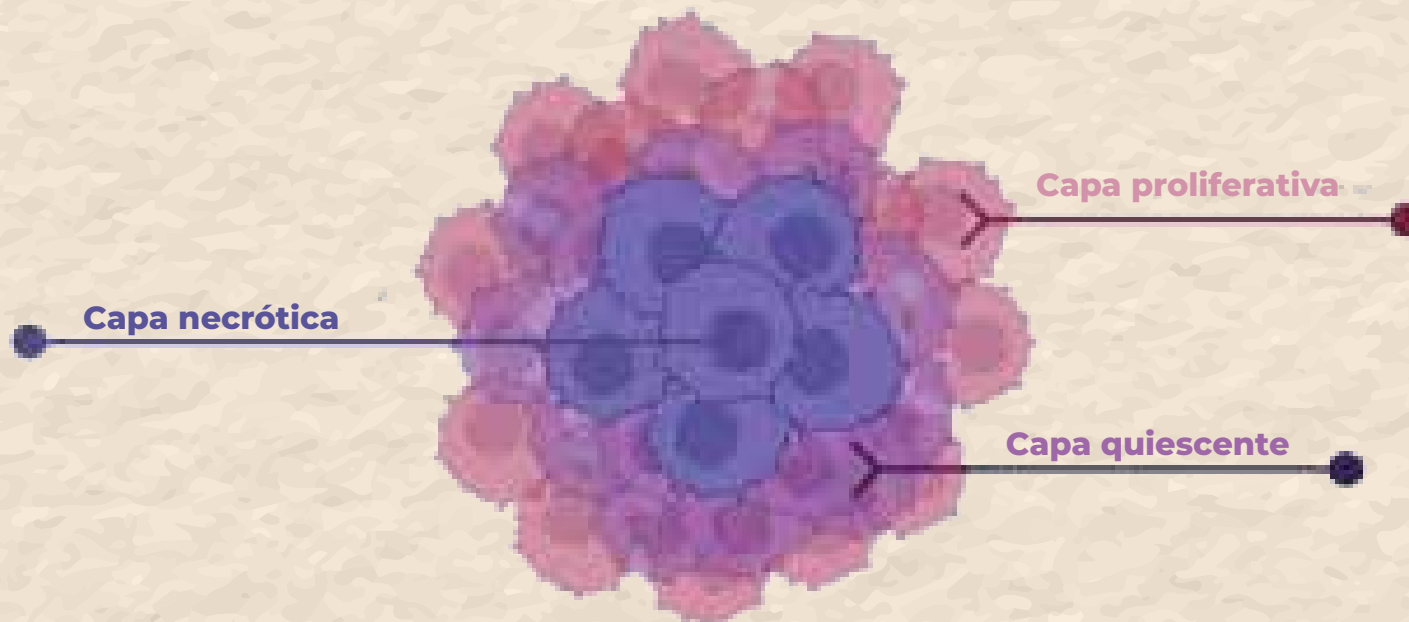
Esta disposición reproduce de manera más real lo que ocurre en un tumor; por esto, los esferoides ofrecen a los investigadores un modelo más preciso para estudiar la enfermedad y probar posibles tratamientos.

Además, este tipo de cultivo contribuye a reducir la necesidad de usar animales en experimentos, lo que disminuye costos y evita algunas de las implicaciones éticas y legales asociadas, creando un puente entre la investigación en laboratorio y la que se adelanta en organismos vivos.

**Capa proliferativa:** ubicada en la parte más externa, donde el acceso a nutrientes y oxígeno es mayor y las células pueden dividirse activamente.

**Capa quiescente:** localizada en una zona intermedia, donde las condiciones son más limitadas, las células reducen su actividad y permanecen en un estado de reposo temporal.

**Capa necrótica:** situada en el centro, donde la falta de oxígeno y nutrientes provoca la muerte celular, generando un núcleo inerte.



**Figura 1.** Capas celulares que conforman un esferoide.  
**Fuente:** elaboración propia.

## Reconocimiento y futuro

Los resultados de la tesis que originó la pregunta de investigación de este proyecto se presentaron en el x Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, en el que obtuvieron un galardón que resalta la calidad y el potencial impacto de la investigación.

Este trabajo refuerza el valor de los bioactivos dietéticos y el enfoque metabolómico para el descubrimiento de nuevos biomarcadores y dianas terapéuticas. Igualmente, respalda la posibilidad de incluir compuestos derivados del café en estrategias preventivas y terapéuticas contra el cáncer colorrectal.

La investigación en metabolómica aplicada al cáncer, sin embargo, todavía es incipiente en Colombia. Pocos laboratorios cuentan con el equipo especializado y el conocimiento técnico para adelantar estos estudios, lo que convierte cada avance en un paso valioso para el desarrollo científico del país.

Iniciativas como esta no solo abren la puerta para que más instituciones y profesionales se formen en el área, sino que demuestran que el conocimiento, cuando se cultiva con pasión, puede trascender fronteras. A veces, una simple taza de café puede ser el punto de partida de una revolución científica.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (Minciencias), gracias a la Convocatoria 890-2020 para el fortalecimiento de CTeI en instituciones públicas de educación superior, con contrato RC 2023-0677, cuyos recursos fueron administrados por el Icetex. Fue posible gracias al apoyo del Laboratorio de Ciencias Biomédicas del ITM y sus profesores adscritos, a la Universidad de Antioquia, a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) y a Natucafé S. A. S.

## Referencias

1. International Coffee Organization. *Coffee report and outlook*. Dec. 2023 [Online]. <http://bit.ly/4ne55D2>
2. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, *Coffee Annual: Colombia (Report No. CO2024-0007)*. May 20, 2024 [Online].
3. E. López-García, P. Guallar-Castillón, L. León-Muñoz, A. Graciani, and F. Rodríguez-Artalejo, «Coffee Consumption and Health-Related Quality of Life», *Clinical Nutrition*, vol. 33, nro. 1, pp. 143-149, Feb. 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2013.08.004>



## **De desecho a energía** **La revolución silenciosa** **de los residuos industriales**

---

**Jeferson Pinzón Chavarro<sup>1</sup>**  
**Paola Andrea Villegas Bolaños<sup>2</sup>**  
**Omar Darío Gutiérrez Florez<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Egresado, Química Industrial, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Institución Universitaria ITM.

<sup>2</sup> Docentes, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Institución Universitaria ITM.



Imagina que, cada vez que disfrutas un jugo de caña o un café, los residuos generados en su producción pudieran transformarse en electricidad limpia o en combustibles renovables. No es ciencia ficción: es la apuesta de la química verde, que busca darle valor a lo que antes era desperdicio, impulsando la transición energética y construyendo un mañana más sostenible.

**F**rente a la necesidad de transitar hacia un futuro sostenible, a nivel mundial se buscan soluciones que mitiguen los impactos ambientales y contribuyan al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Conscientes de ello, en laboratorios universitarios como los del ITM se están gestando iniciativas que convierten residuos en oportunidades. Tal es el caso del Grupo de Investigación Alquimia que, a través del Semillero de Estudios de Retos Químicos (SERQ), desarrolló un proyecto pionero: transformar residuos agroindustriales y mineros en fuentes de energía limpia mediante un proceso llamado *pirólisis*.

Hoy, cerca del 80 % de la energía mundial proviene de combustibles fósiles (International Energy Agency [IEA], 2023). En Colombia, estas fuentes aportaron el 36 % —10 272.2 millones de dólares *free on board* (FOB)— del valor de las exportaciones de petróleo en el período de enero-junio de 2022, según cifras del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2022). Además, concentraron el 90.4 % de la producción de energía primaria del país: petróleo (40.6 %), carbón mineral (33.1 %) y gas natural (16.7 %), (Asociación Colombiana de Gas y Petróleo, s.f.). Sin embargo, con su uso se liberan dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero que, a su vez, atrapan el calor en la atmósfera y son los principales responsables del cambio climático (Naciones Unidas, s.f.).

Colombia enfrenta entonces un doble reto: equilibrar su dependencia energética de los recursos no renovables, con la urgente necesidad de reducir la huella de carbono y mitigar los efectos del cambio climático mediante procesos industriales más sostenibles.

### Agroindustria: un residuo con potencial energético

Uno de los sectores clave en este contexto es la agroindustria, que genera cantidades masivas de residuos orgánicos que, mal gestionados, afectan la calidad del aire, del agua y del suelo. Un ejemplo es el bagazo de caña, derivado de la industria azucarera y producto insignia del Valle del Cauca. Solo en 2022 se procesaron 21 137 926 toneladas, que dejaron 7 045 975 toneladas de residuo o bagazo de caña (DANE, 2022).

La inadecuada disposición de grandes cantidades de desechos agroindustriales genera problemáticas sociales, económicas y ambientales. La quema de esos residuos contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero. Además, su acumulación contamina tanto los suelos como los afluentes de la zona donde se producen, afectando la demanda química de oxígeno (DQO) y provocando la desestabilización de los afluentes, entre otras consecuencias (Romeo-Sáez, 2022).

## Minería: de las arenas negras a la energía limpia

Por su parte, la minería en Colombia también ocupa un papel central para el desarrollo del país. En 2021 registró aportes por \$39.9 billones, que representaron un incremento anual de aproximadamente el 2 % en el PIB (Agencia Nacional de Minería, s.f.). El área destinada a la explotación minera es de 114 millones de hectáreas y abastece principalmente materiales de construcción (57 %), seguido por el carbón (17 %), metales preciosos (11 %), calizas (5 %), minerales industriales (4 %), piedras preciosas (4 %) y otros metales (2 %) (Distribuidora de Químicos Industriales S. A., 2022). Sin embargo, en la producción minera se utilizan compuestos químicos y grandes cantidades de agua, lo que implica un riesgo considerable para el medioambiente por sus daños en los ecosistemas.

Uno de los principales desechos generados en la minería de oro aluvial en Colombia son las arenas negras, subproducto final resultante del proceso de lavado del oro con agua para separar la arena o la grava. En algunos casos, se utiliza mercurio para amalgamar el oro y este queda retenido en dichos materiales. Se estima que en el país se producen entre 100 000 y 200 000 toneladas anuales de estas arenas negras, que contienen minerales pesados como la magnetita, la hematita, el circón y la ilmenita (Cordy et al., 2011).

Este subproducto se deposita principalmente en los lechos de ríos y las costas del Pacífico colombiano, representando un gran riesgo debido a su potencial de contaminar las fuentes hídricas y causar sedimentación y obstrucción de los cauces. Lo anterior puede provocar inundaciones y daños en las comunidades ribereñas (Contraloría General de la República, 2019). El desarrollo de un plan integral que aproveche minerales como la ilmenita podría generar importantes beneficios económicos y ambientales para el país.

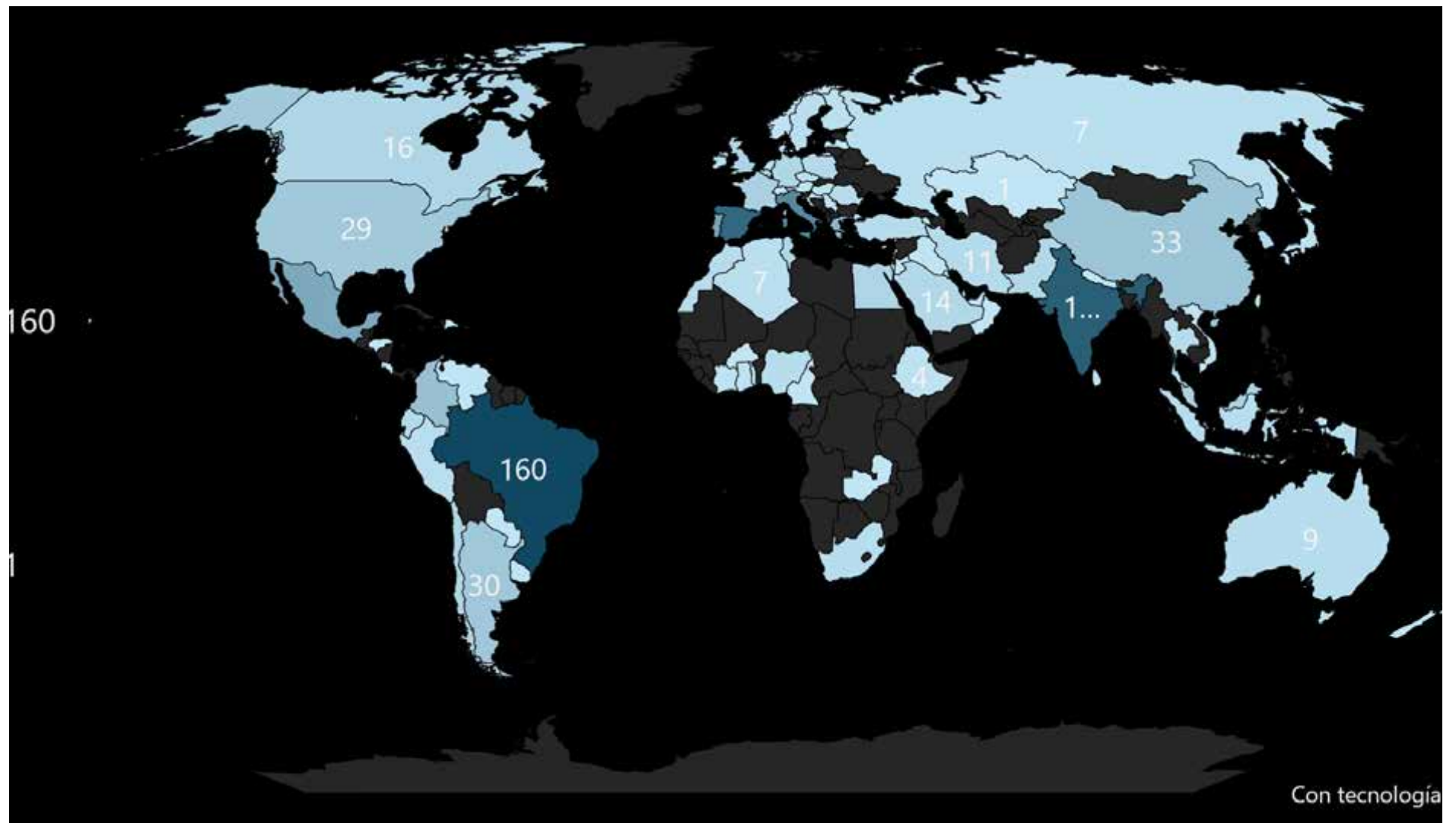
## Pirólisis: ciencia que convierte residuos en energía

Lejos de ver estos residuos solo como “basura orgánica”, el Grupo Alquimia y el Semillero SERQ del ITM han desarrollado un proyecto para transformar residuos agroindustriales y mineros en energía limpia mediante la *pirólisis*.

Este proceso termoquímico descompone materiales orgánicos al calentarlos en ausencia de oxígeno, obteniendo productos como bioaceite, *biochar* y biogás. A diferencia de la combustión, no libera emisiones directas de carbono y permite obtener vectores energéticos con gran potencial en la transición hacia una economía circular (Freitas et al., 2021).

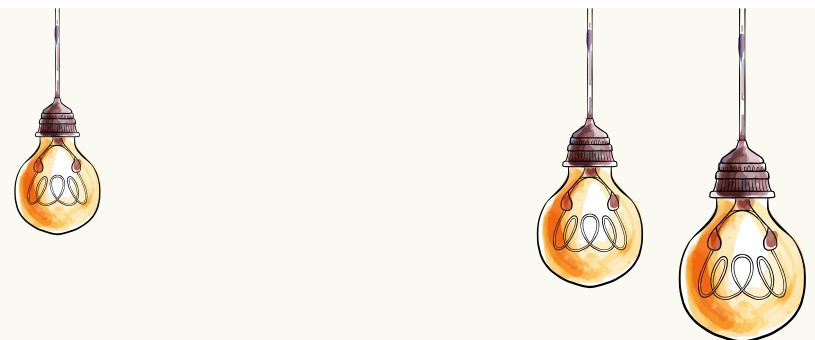
Estas alternativas alrededor del reciclaje químico se apoyan en los principios de la ecología verde, buscando un equilibrio entre el aprovechamiento de los recursos naturales y la protección del medioambiente. Estos temas son de gran interés hoy en día en la comunidad científica, como lo evidencia la figura 1, donde se presenta el número de publicaciones científicas por país relacionadas con la valorización de residuos agroindustriales en los últimos diez años, según datos extraídos de la base de datos Scopus.





**Figura 1.** Distribución de publicaciones en el tema valorización de residuos agroindustriales por país  
**Fuente:** elaboración propia, datos tomados de Scopus (agosto de 2025).

La figura anterior evidencia la contribución de países latinoamericanos en la producción científica; Brasil participa con 160 publicaciones, seguido por Colombia (36), y Argentina (30). Aunque el volumen de publicaciones aún es inferior al de países como India (137) o China (133), en comparación con otras regiones del mundo, Latinoamérica está fortaleciendo la investigación local y la generación de aportes sobre el aprovechamiento de residuos agroindustriales, lo que contribuye al conocimiento científico global.



**La agroindustria y la minería generan toneladas de residuos. Pero gracias a la química verde, estos desperdicios pueden convertirse en energía limpia.**



## Colombia y la transición energética

Colombia ha dado pasos importantes hacia la transición energética con normativas como el Decreto 2236 de 2023, que promueve la creación de comunidades energéticas que puedan generar y compartir energía renovable de distintas formas, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La idea es clara: impulsar soluciones limpias que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y, al mismo tiempo, mejorar la calidad de vida de las personas.

Este enfoque se conecta directamente con la meta 7.b de los ODS, que busca garantizar para 2030 que toda la población tenga servicios energéticos asequibles, confiables y modernos. También se alinea con el indicador 7.1.1, que mide el porcentaje de personas con acceso a electricidad.

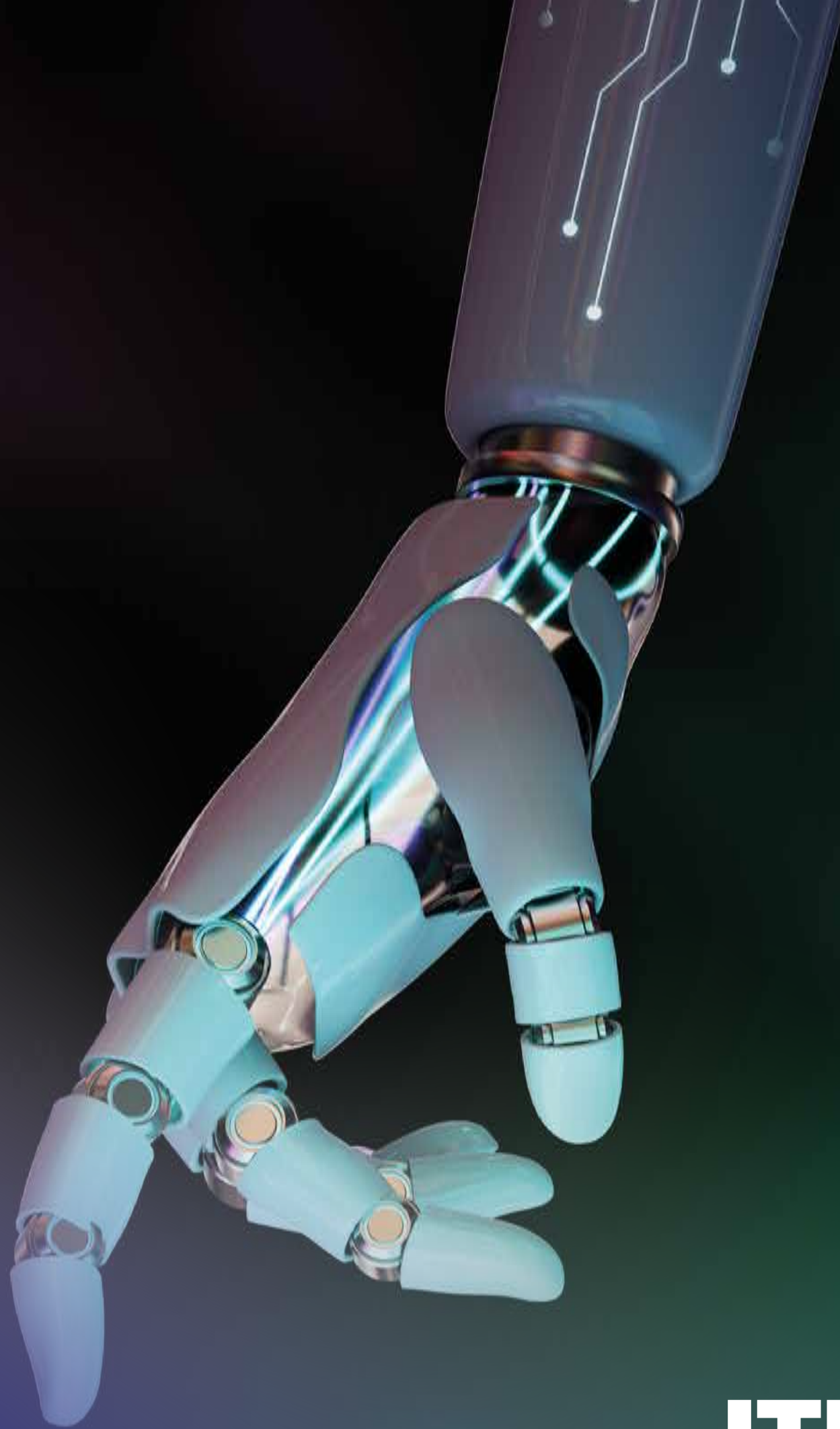
A largo plazo, iniciativas como las del Grupo Alquimia y el Semillero SERQ del ITM pueden ofrecer a las comunidades nuevas fuentes de energía amigables con el medioambiente, mediante el aprovechamiento responsable de diversos vectores energéticos, como el hidrógeno, el metano, el dióxido de carbono, *biooil* y *biochar*.

Cada avance de este tipo no solo fortalece la ciencia local, sino que acerca la región a una bioeconomía sostenible y redefine nuestra relación con los residuos. Lo que antes llamábamos desecho, hoy se puede transformar en energía para un futuro más limpio.

## Referencias

1. Agencia Nacional de Minería. (s.f). *Boletín Estadístico Minero 2020-2021*. <https://acortar.link/bOHQa4>
2. Asociación Colombiana de Gas y Petróleo. (2023). Asociación Colombiana de Gas y Petróleo. <https://acortar.link/oNszYz>
3. Contraloría General de la República. (2019). *Informe de Rendición de Cuentas 2019*.
4. Cordy, P., Veiga, M. M., Salih, I., Al-Saadi, S., Console, S., García, O., Mesa, L. A., Velásquez-López, P. C., and Roeser, M. (2011). Mercury Contamination from Artisanal Gold Mining in Antioquia, Colombia: The World's Highest per Capita Mercury Pollution. *Science of the Total Environment*, 410-411, 154-160. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.006>
5. DANE. (2022). *Cuenta satélite de la agroindustria de la caña de azúcar*. <https://acortar.link/ihnuCP>
6. Distribuidora de químicos industriales S.A. (2022). *Así es nuestra Colombia minera*. <https://www.dqisa.com/2022/05/18/asi-es-nuestra-colombia-minera/>
7. Freitas, L. C., Barbosa, J. R., da Costa, A. L. C., Bezerra, F. W. F., Pinto, R. H. H., and Carvalho Junior, R. N. (2021). From Waste to Sustainable Industry: How Can Agro-Industrial Wastes Help in the Development of New Products? *Resources, Conservation and Recycling*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105466>
8. International Energy Agency. (2023). *World Energy Outlook 2023: Executive summary*. IEA.
9. Naciones Unidas. (s.f.). *¿Qué es el cambio climático?* <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
10. ONU. (s.f.). ONU Programa para el medioambiente. *Datos sobre el metano*. <https://www.unep.org/es/explore-topics/energy/datos-sobre-el-metano>
11. Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *Tecnológicas*, 25(54). <https://doi.org/10.22430/22565337.2505>





**ITM**   
*Somos la*