

Los MOF: materiales a la medida
para hacer frente a los desafíos
del siglo xxi

La simplicidad
en la ciencia:
de Newton
a SpaceX

La biotecnología detrás
de la nanotecnología
dermatológica

Cuando la ingeniería trasciende las aulas • Las plantas: fábricas químicas de metabolitos secundarios • ¿Y si tu maquillaje pudiera adaptarse a ti? • Scooters: 100 años de un vehículo a gran velocidad • Con sangre, sudor y lágrimas • El héroe que todos ocupamos alguna vez • El estado del arte de la computación cuántica y el impacto en la encriptación moderna • Endometriosis: La lucha contra el sufrimiento femenino • La IA más allá de tus tareas

Programas de posgrado de la Facultad de Ingeniería

Trimestrales

Inicio: enero, abril, julio y octubre

- Maestría en Ingeniería de Gestión Empresarial
- Maestría en Logística
- Maestría en Tecnologías de Información e Inteligencia Analítica
- Maestría en Tecnologías para el Desarrollo Sustentable

Semestral

Inicio: enero y agosto

- Doctorado en Ingeniería Industrial

Facultad de
Ingeniería

CADIT
CENTRO DE ALTA DIRECCIÓN EN
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Trasciende con herramientas



Trasciende
con visión

Descuento del
20%
a egresados

Informes:

Centro de Atención de Posgrado
y Educación Continua

 **55 54 51 61 77**
55 79 18 21 59

posgrado@anahuac.mx

anahuac.mx/mexico/posgrados

 Posgrados Anáhuac

 @Anahuac_P

 @PosgradosAnahuac

Posgrados
ANÁHUAC

UNIVERSIDAD ANÁHUAC MÉXICO

RECTOR

Dr. Jesús Villagrasa Lasaga, L.C.

VICERRECTORÍA ACADÉMICA

Dr. Jose Rodrigo Pozón López

Dra. Lorena Rosalba Martínez Verduzco

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Dr. Marco Antonio Paz Ramos

DIRECTORA DE INVESTIGACIÓN

Dra. Rebeca Illiana Arévalo Martínez

EDITOR DE REVISTAS ACADÉMICAS

Lic. Alexander Ramírez López

REVISTA + CIENCIA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

AÑO 14, N.º 42, SEPTIEMBRE-DICIEMBRE 2026

DIRECTORA EDITORIAL
Dra. María Elena Sánchez Vergara

COORDINACIÓN EDITORIAL
Judá Jireh Mondragón Cruz

ASESOR Y REVISOR DE CONTENIDO
Pablo Vidal García, L.C.

COMITÉ EDITORIAL
Dra. María Elena Sánchez Vergara
Profesora-Investigadora

Judá Jireh Mondragón Cruz
Alumno de Ingeniería Industrial

Carmen Valeria Peña Ramírez
Camila Monserrat Dupont Puente
Leonardo Franco Olivera Pacheco
Yoana Navidad Seseña Gómez
Diana Elena Sánchez Valenzuela
Alumnos de Ingeniería Biomédica

Ingrid Sofía Rincón von Pastor
Aldo Lara Rodríguez
Ana Lucía Velázquez Gutiérrez
Alumnos de Ingeniería Mecatrónica

Carmina Villegas Toraya
Alumna de Ingeniería Ambiental

Aylin Denisse Lee Alemán
Alumna de Ingeniería Química

Paloma Suárez Acosta
Alumna de Biotecnología

CORRECCIÓN DE ESTILO
Armando Rodríguez Briseño

CONCEPTO, DISEÑO EDITORIAL Y PORTADA
Daniel Hurtado Rivera

FOTOGRAFÍA DE PORTADA
Sangharsh Lohakare
Primer plano de una estructura azul y púrpura
Tomada de *Unsplash*

+Ciencia. Revista de la Facultad de Ingeniería, año 14, número 42, septiembre-diciembre 2026, es una publicación cuatrimestral editada por Investigaciones y Estudios Superiores, S.C. (conocida como Universidad Anáhuac México), a través de la Facultad de Ingeniería. Avenida Universidad Anáhuac 46, colonia Lomas Anáhuac, Huixquilucan, Estado de México, C.P. 52786. Tel. 55 56270210. Editor responsable: María Elena Sánchez Vergara. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2022-091511373400-102, ISSN electrónico: 2954-4408. Cualquier información y/o artículo y/u opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Asimismo, el editor investiga sobre la seriedad de sus anunciantes, pero no se responsabiliza de las ofertas relacionadas con los mismos. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del editor.

CONTENIDO

5 EDITORIAL

La coordenada (0,0)
Judá Jireh Mondragón Cruz

7 ¿SABÍAS QUE...?

Una célula sin cerebro es capaz de diseñar la red del metro de Tokio

Existen carreteras que cantan para mejorar la seguridad vial

Una papa Pringles comparte geometría con las obras de Félix Candela
Camila Monserrat Dupont Puente

10 UNOS AÑOS DESPUÉS...

Cuando la ingeniería trasciende las aulas
Emiliano Toledo Dircio

12 1 IDEA = 1 CAMBIO

Los MOF: materiales a la medida para hacer frente a los desafíos del siglo XXI
Aylin Denisse Lee Alemán

16 CIENCIA A TODO LO QUE DA

Las plantas: fábricas químicas de metabolitos secundarios
Daniel Cisneros Torres

23 ¡MAQUINÍZATE!

¿Y si tu maquillaje pudiera pensar?
Yoana Navidad Seseña Gómez

26 DE LA NECESIDAD AL INVENTO

Scooters: 100 años de un vehículo a gran velocidad
Carmina Villegas Toraya

CIENCIA POR ALUMNOS

29 Licenciatura: Con sangre, sudor y lágrimas
Ingrid Sofía Rincón von Pastor

33 Posgrado: La simplicidad en la ciencia: de Newton a SpaceX
Francisco Javier Trejo García

33 DEL LABORATORIO A LA INDUSTRIA

La biotecnología detrás de la nanotecnología dermatológica
Paloma Suárez Acosta

42 UTILÍZALO

El héroe que todos ocupamos alguna vez
Aldo Lara Rodríguez

44 EN LA FRONTERA

El estado del arte de la computación cuántica y el impacto en la encriptación moderna

Luis Eduardo Ordoñez Irineo, Iván Fuentecilla Cárcamo, Gerardo Barrera Flores, José Alejandro Hernández López, Laura Alejandra Tepanecatí Fuentes, Yesmin Panecatí Bernal

48 ¡INTEGRANDO INGENIERÍA

Endometriosis: La lucha contra el sufrimiento femenino
Diana Sánchez Valenzuela

52 IA, NUESTRA NUEVA COMPAÑERA DE VIDA

La IA más allá de tus tareas
Leonardo Franco Olivera Pacheco

CONTÁCTANOS EN:

<https://www.anahuac.mx/mexico/Escuelas-yFacultades/ingenieria/MasCiencia>



mascienciaanahuac



/mas.ciencia/



LA COORDENADA (0,0)

Queridos lectores:

El futuro no es algo que simplemente nos ocurre; es algo que se crea y transforma. Vivimos en un mundo que avanza a un ritmo vertiginoso, pero aquí sabemos que la verdadera innovación no solo es romper las fronteras del conocimiento por pura ambición. Se trata de algo mucho más profundo: asegurar que cada avance, cada nuevo descubrimiento, termine por abrazar y beneficiar a nuestra sociedad. Sean bienvenidos, una vez más, a *+CienciaA*.

Somos el pulso de la vanguardia científica. Te invitamos a adentrarte en estas páginas, a dejar que la curiosidad te guíe para descubrir con nosotros las investigaciones que están construyendo el mundo de mañana.

En nuestra sección “¿Sabías que...?”, Camila Monserrat Dupont Puente nos presenta una cautivadora tríada que recuerda el impacto de la tecnología en la vida diaria, desde células biológicas que inspiran la construcción de redes de movilidad, carreteras musicales y la sorprendente presencia de la geometría tanto en las papas como en las monumentales obras de arquitectura.

También encontrarás en nuestra icónica sección “Unos años después...” un reflexivo artículo de Emiliano Toledo Dircio, destacado egresado de Ingeniería Mecatrónica, que no solo te platica acerca de sus actividades recientes como ingeniero, sino que te invita a ser perseverante en tu vida profesional.

La sección “1 idea = 1 cambio” nos transporta al fascinante mundo microscópico. Guiados por las palabras de Aylin Denisse Lee Alemán, descubriremos cómo los MOF (Redes Metal-

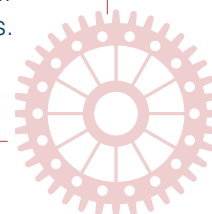
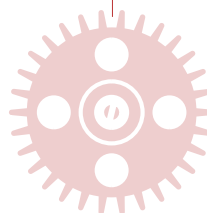
Orgánicas) emergen como materiales excepcionalmente poderosos para combatir los problemas medioambientales contemporáneos, actuando como filtros y almacenadores de gases a nivel molecular.

Por su parte, el profesor Daniel Cisneros Torres en “Ciencia a todo lo que da” revela uno de los grandes secretos del reino vegetal, los metabolitos. Estas pequeñas moléculas, producto del metabolismo de estos increíbles organismos, están revolucionando las aplicaciones industriales. Gracias a técnicas biotecnológicas avanzadas, hoy obtenemos desde pigmentos hasta fertilizantes, demostrando un amplísimo campo de aplicación para transformar industrias enteras hacia modelos más eficientes y sostenibles.

La belleza y la innovación convergen de manera perfecta en “Maquinízate”, donde Yoana Navidad Seseña Gómez nos presenta a Perso, una máquina desarrollada para llevar la personalización del maquillaje a un nuevo nivel tecnológico, creando fórmulas únicas en tiempo real que se adaptan a las necesidades específicas y al entorno de cada tipo de piel.

En esta ocasión, “De la necesidad al invento” llega sobre ruedas. Carmina Villegas Toraya relata la historia de los *scooters*, trazando su evolución desde aquellas dos pequeñas ruedas impulsadas por fuerza mecánica hasta los modernos sistemas de energía eléctrica que hoy se mueven por nosotros, redefiniendo por completo la movilidad urbana de manera ágil y ecológica.

Nuestra emblemática sección “Ciencia por alumnos” se presenta ahora en dos bloques.





En el nivel de licenciatura, Ingrid Sofía Rincón von Pastor emplea una narrativa poderosa para contarnos cómo la sangre, el sudor y las lágrimas pueden convertirse literalmente en energía. A través de las Bio Fuel Cells, se aprovechan los fluidos corporales para alimentar dispositivos médicos de monitoreo como lentes de contacto inteligentes, logrando así mejorar la calidad de vida de sus usuarios.

En el bloque de posgrado, Francisco Javier Trejo García nos invita a un análisis profundo sobre el valor de la simplicidad en la ciencia. Citando a figuras como Newton y explorando el caso de SpaceX, demuestra que los grandes descubrimientos no radican en la complejidad, sino en la elegancia con la que resuelven los problemas técnicos, optimizando recursos para alcanzar las estrellas.

“Del laboratorio a la industria” se integra a la revista con un artículo de enfoque multieje que une biotecnología, nanotecnología e ingeniería de materiales en un solo producto. Paloma Suárez Acosta explica la innovadora tecnología desarrollada por Rogelio Martínez Escareño para tratamientos dermatocósméticos, destacando una maravilla adicional que es su avanzado sistema de encapsulamiento con el potencial de revolucionar otras áreas de interés médico, facilitando la entrega precisa de fármacos en el cuerpo.

Sin lugar a duda, “Utilízalo” trae a las páginas a un viejo conocido de la vida estudiantil. Aldo Lara Rodríguez escribe sobre Photomath, el héroe silencioso de muchos en las clases de matemáticas, demostrando cómo la visión computacional y los algoritmos de reconocimiento están transformando el aprendizaje autodidacta paso a paso.

La física cuántica nos lleva directamente a estar “En la frontera”. Aquí, el equipo conformado por Luis Eduardo Ordoñez Iríneo, Gerardo Barrera Flores, José Alejandro Hernández López,

Iván Fuentecilla Cárcamo, Laura Alejandra Teapanecatl Fuentes, Yesmin Panecatí Bernal nos comparten los últimos avances en encriptación y seguridad digital, desentrañando conceptos complejos como el algoritmo de Shor y las trampas de iones, tecnologías que prometen superar los límites del procesamiento actual y garantizar la creación de sistemas informáticos prácticamente invulnerables.

Diana Sánchez Valenzuela pone sobre la mesa un tema indispensable en “¡Integrando ingeniería”, la algología femenina y la endometriosis. Abordando los retos y sesgos históricos que aún persisten en la medicina respecto al estudio y tratamiento del cuerpo femenino, destaca el proyecto de investigación de la maestra Luz Elena Sánchez, de la Universidad de Texas. Su trabajo busca desarrollar un dispositivo capaz de medir los picos de cortisol para brindar mayor claridad clínica, permitiendo diseñar tratamientos precisos que verdaderamente alivien el dolor de las pacientes.

Para finalizar, Leonardo Franco Olivera Pacheco en “La IA, nuestra nueva compañera de vida”, trae ante nosotros proyectos de absoluta vanguardia. Desde Coscientist, un asistente de inteligencia artificial diseñado para acelerar la experimentación en la industria química hasta AR INAIR 2 Elite, un salto tecnológico que deja atrás los ordenadores físicos para sustituirlos por interfaces inmersivas de realidad aumentada.

Cada una de las páginas de esta edición es una prueba de que el conocimiento no se detiene, ni lo hará. La ciencia avanza, se transforma y nos impulsa a seguir su ritmo, recordándonos que el único límite real es nuestra capacidad de asombrarnos. Pasen, lean y atrevanse a imaginar el futuro con nosotros.

Sean bienvenidos una vez más a +CienciaA.

Judá Jireh Mondragón Cruz

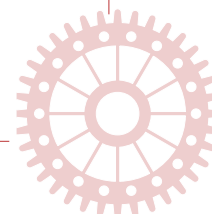
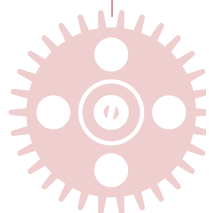




Figura 1. Carretera musical Asinoko Sukai Line, en Kanagawa.
Fuente: Imagen tomada de: <https://japon-secreto.com/carreteras-musicales-japon-melody-road/>

EXISTEN CARRETERAS QUE CANTAN PARA MEJORAR LA SEGURIDAD VIAL

CAMILA MONSERRAT DUPONT PUENTE
Ingeniería Biomédica, 3.º semestre

En 1995 nació en Dinamarca el Asphaltophone, la primera carretera musical del mundo (Balagué Martín, 2014). Esta infraestructura funciona de forma similar a un tocadiscos: el pavimento cuenta con ranuras milimétricas (*road grooves*) que, al entrar en contacto con la fricción de los neumáticos, generan vibraciones mecánicas (Ling *et al.*, 2024). La carrocería del auto actúa como caja de resonancia y transmite el sonido como una melodía (Tucker *et al.*, 2019).

La afinación y el ritmo de la melodía dependen directamente de la velocidad del vehículo y la distancia entre los surcos del asfalto (Ling *et al.*, 2024). Más allá de una innovación acústica, el verdadero potencial de esta infraestructura radica en su capacidad para *transformar la seguridad vial*: al alterar la música si el auto acelera o frena, incentiva de forma natural a mantener el límite de velocidad adecuado, mientras que las vibraciones y el estímulo auditivo combaten la fatiga y las distracciones al volante (Balagué Martín, 2014).

Referencias

- Balagué Martín, G. (2014). La música de los puentes. Tesina de especialidad. *UPCommons*, 19 de junio. <https://upcommons.upc.edu/entities/publication/556d649d-4893-4d49-9456-658e6fe29325>
- Ling, H., He, H., Chen, S., y Yu, J. (2024). Design Method and Engineering Application of new Music Road Surface Structure. En *Proceedings of the 2024 8th International Conference on Civil Architecture and Structural Engineering (ICCASE 2024)* (pp. 724-732). Guangzhou, China. <https://www.atlantispress.com/proceedings/iccasse-24/126001279>
- Tucker, A., Arnold, T., y Perkins, E. (2019). Asphaltophone Profile Design. https://www.researchgate.net/publication/334707501-ASPHALTOPHONE_PROFILE_DESIGN

UNA CÉLULA SIN CEREBRO ES CAPAZ DE DISEÑAR LA RED DEL METRO DE TOKIO

CAMILA MONSERRAT DUPONT PUENTE
Ingeniería Biomédica, 3.º semestre

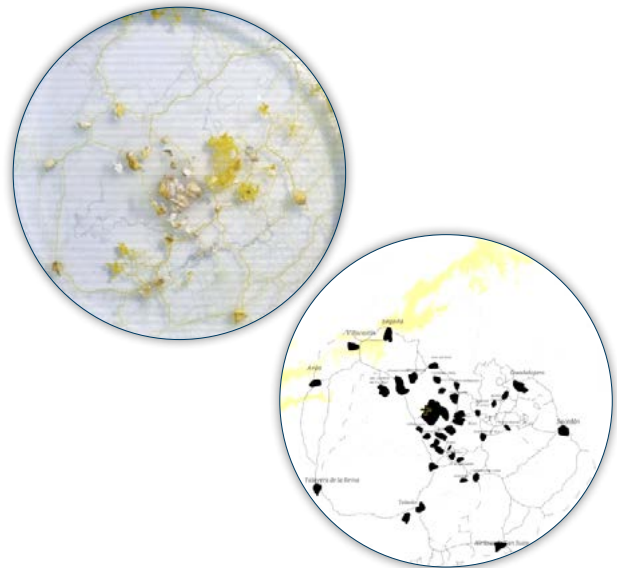


Figura 2. Recreación del experimento de red con *Physarum polycephalum* aplicado a la red de transporte de Madrid: cultivo en placa de Petri (izquierda) y esquematización geográfica de conectividad (derecha).
Fuente: Imagen tomada de https://oa.upm.es/73047/1/TFG_Ene23_Rodriguez_Lopez_Maite.pdf

El *Physarum polycephalum* (o *blob*) es un organismo unicelular sin sistema nervioso que se mueve mediante corrientes citoplasmáticas. En un experimento icónico, investigadores colocaron hojuelas de avena siguiendo la misma distribución de las estaciones del metro de Tokio y usaron luz para simular barreras geográficas. En solo 26 horas, el *blob* trazó una red tan eficiente como el sistema ferroviario real, ofreciendo incluso mayor resistencia a fallos y un menor gasto energético. Su secreto está en dos fases: primero se expande por todos lados y luego optimiza, reforzando solo los canales por donde fluyen más nutrientes y eliminando las rutas inútiles. Hoy, este comportamiento inspira el *urbanismo de enjambre* y sirve para modelar la red de materia oscura del universo (Rodríguez López, 2022).

Referencia

- Rodríguez López, M. (2022). *Procesos de crecimiento eficiente en la naturaleza: El caso de Physarum polycephalum y las redes de transporte*, Trabajo de fin de grado. Departamento Ideación Gráfica Arquitectónica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/73047/1/TFG_Ene23_Rodriguez_Lopez_Maite.pdf



UNA PAPA PRINGLES COMPARTE GEOMETRÍA CON LAS OBRAS DE FÉLIX CANDELA

CAMILA MONSERRAT DUPONT PUENTE
Ingeniería Biomédica, 3.^{er} semestre



Figura 3. Vista exterior del restaurante Los Manantiales en Xochimilco.
Fuente: Imagen tomada de: <https://mxc.com.mx/2016/11/18/manantiales-un-restaurante-en-medio-de-un-lago/>

A primera vista, una papa Pringles y el restaurante Los Manantiales en Xochimilco, Ciudad de México, no tienen mucho en común. Sin embargo, detrás de ambas formas se esconde una de las estructuras más eficientes de la geometría: el *paraboloide hiperbólico* (Abad Sánchez, 2022).

Conocido como forma de *silla de montar*, tiene *dos curvaturas opuestas* al mismo tiempo. Si te imaginas parado en el centro de una Pringles y caminas hacia adelante o atrás, bajarás como en una colina; pero si giras noventa grados y caminas en perpendicular, notarás que empiezas a subir como en un valle. En ingeniería, esto se conoce como una superficie anticlástica (Esplugues Catalán, 2025).



Figura 4. Modelo en plastilina de la geometría anticlástica en un paraboloide hiperbólico, con las dos curvaturas opuestas desde el punto central.
Fuente: Imagen: cortesía de Camila Dupont.

Además, es una *superficie doblemente reglada*: está formada por líneas rectas que se cruzan. Esta propiedad permitía al arquitecto Félix Candela construir superficies complejas vaciando concreto sobre encofrados hechos con simples tablas rectas (Blanco García y García Ríos, 2016).

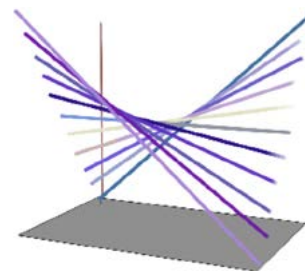


Figura 5. Representación de las rectas generatrices de un paraboloide hiperbólico.

Fuente: Imagen: cortesía de Camila Dupont.

Gracias a esta geometría, la estructura trabaja mediante *esfuerzos de membrana*, repartiendo las fuerzas por toda la superficie. Esto permite lograr estructuras con esbelteces extremas de solo 1.5 a 4 centímetros de grosor —más delgadas que la cáscara de un huevo en relación con su tamaño— eliminando la necesidad de vigas y columnas intermedias (Cárceles Garralón, 2008). Es el claro ejemplo de cómo la geometría diferencial ayuda tanto a construir cubiertas esculturales como a evitar que tus papitas lleguen destrozadas.

Referencias

- Abad Sánchez, J. M. (2022). Superficies mínimas y su aplicación en ingeniería. Trabajo de fin de grado. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Cartagena. <https://repositorio.upct.es/entities/publication/7e68e282-63e3-4af6-8639-482d2a8cfb17>
- Blanco García, F. L., y García Ríos, I. (2016). De las estructuras laminares a las estructuras metálicas en la arquitectura de Félix Candela, *RITA*, (5), 98-106. <https://oa.upm.es/54868/>
- Cárceles Garralón, F. (2008). El paraboloide hiperbólico como generador inagotable de formas en las estructuras laminares. En *I Jornada Nacional de Investigación en Edificación*. Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/3708/2/GARRALON_PON_2008_01.pdf
- Esplugues Catalán, J. (2025). Encofrados vivos: Paraboloides hiperbólicos de madera laminada como estructura social. Trabajo de fin de grado. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/d62714c4-7f1e-4264-aa54-3c63f0836ad3/content>



¿Te has perdido de algo? ¡No te preocupes!
Hay +Ciencia por descubrir. Síguenos en nuestras redes sociales para acceder a contenido interesante y relevante, mantente al día con nuestras colaboraciones, revistas, podcasts, videos y eventos.
¡Escanea el código y sorpréndete!



¡Síguenos en nuestras redes sociales!



Te invitamos a explorar la revista de la Facultad de Ingeniería **+CienciaA**, con **contenido creado por nuestros alumnos e investigadores** sobre el emocionante mundo de la ciencia. **Escanea el código y mantente al tanto de las nuevas ediciones de la revista de la Facultad de Ingeniería.**



¿Te apasiona la ciencia y la tecnología? Descubre todo el contenido de nuestra revista +CienciaA y mantente al día con nuestras colaboraciones, investigaciones y eventos. **En LinkedIn**, conectamos con líderes e investigadores que transforman el mundo con innovación.

¡Síguenos, escanea el código y únete a la comunidad que está impulsando la ciencia hacia el futuro!

También te invitamos a escucharnos en nuestro podcast:

https://open.spotify.com/episode/7dnSOTtYmap14Hju5qptuD?si=Em5WaAszSWSW0ya5w7pQeA&utm_source=copy-link&nd=1&dlsi=c9eb9daa8bcd4f4f

Episodio de podcast

**Con + Ciencia - Microplásticos:
El enemigo invisible**

Con + Ciencia

**+CON
CIENCIA**





Unos años después...

CUANDO LA INGENIERÍA TRASCIENDE LAS AULAS

EMILIANO TOLEDO DIRCIO
Ingeniería Mecatrónica
Generación 2020-2024



Durante mi formación académica, encontré en la mecatrónica una disciplina fascinante por su capacidad de integrar conocimientos de mecánica, electrónica y automatización para resolver problemas complejos. Entre las asignaturas que más marcaron mi trayectoria destacan Sistemas Electroneumáticos, Robótica, Automatización y Manufactura, materias que me permitieron comprender cómo las tecnologías modernas interactúan para crear sistemas inteligentes y eficientes. Estas experiencias no solo fortalecieron mis habilidades técnicas, sino que también despertaron mi interés por la automatización industrial y la optimización de procesos productivos.

Uno de los aspectos más enriquecedores de mi paso por la Universidad fue mi participación en el Grupo de Investigación de Semiconductores Orgánicos, donde tuve la oportunidad de



involucrarme activamente en proyectos científicos de alto nivel. Gracias a esta experiencia, colaboré en la publicación de tres artículos de investigación, participé en una estancia de investigación en la Universidad Complutense de Madrid y tuve la oportunidad de presentar resultados y compartir conocimiento en congresos internacionales. Estas actividades me permitieron comprender la importancia de la investigación como motor de innovación y desarrollo tecnológico, además de fortalecer competencias como el análisis crítico, la resolución de problemas, la comunicación científica y el trabajo colaborativo.

Sin embargo, uno de los aprendizajes más valiosos obtenidos durante mi formación no provino únicamente de las clases o los laboratorios. La Universidad también fue un espacio para desarrollar habilidades blandas fundamentales para cualquier profesional. La participación en proyectos multidisciplinarios, la exposición a entornos de investigación y la interacción con profesores, estudiantes y especialistas de distintas áreas me ayudaron a fortalecer mi liderazgo, disciplina, capacidad de adaptación, resiliencia y trabajo en equipo. Estas competencias contribuyeron significativamente a la formación de mi carácter, enseñándome la importancia de la responsabilidad, la perseverancia y la búsqueda constante de la mejora continua.

Actualmente, tengo la oportunidad de desempeñarme como Supervisor de Proyectos en Grupo Bimbo, la empresa de panificación más importante del mundo. Dentro de esta responsabilidad participo en la gestión y ejecución de proyectos de inversión de capital (CAPEX), enfocados en la modernización, expansión y mejora de las capacidades productivas de diversas plantas a nivel mundial. Mi labor involucra la planeación, evaluación técnica, especificación y adquisición de equipos industriales, así como la coordinación de múltiples partes para garantizar el cumplimiento de los objetivos de costo, calidad y tiempo.

Es precisamente en este entorno donde los conocimientos adquiridos durante mi formación como ingeniero mecatrónico cobran vida. La evaluación y selección de equipos de producción como hornos industriales, mezcladoras, envolvedoras, sistemas de transporte, robots y equipos de automatización, entre otros, requieren una comprensión integral de principios mecánicos, eléctricos y de control. Cada proyecto representa un desafío diferente, en el que es necesario analizar alternativas tecnológicas, evaluar proveedores y diseñar soluciones que contribuyan a mejorar la productividad y competitividad de los procesos industriales.

Mirando hacia atrás, puedo afirmar que la combinación entre la formación académica, la participación en investigación científica y el desarrollo de habilidades personales ha sido fundamental para afrontar los retos del ámbito profesional. La ingeniería mecatrónica me proporcionó las herramientas técnicas necesarias, mientras que las experiencias extracurriculares y profesionales me ayudaron a desarrollar la visión, el liderazgo y la capacidad de generar valor a través de la innovación.

Hoy continúo convencido de que el aprendizaje nunca termina y que cada proyecto representa una nueva oportunidad para crecer, crear y transformar realidades mediante la tecnología.

Me gustaría terminar este artículo con una frase que refleja la filosofía que me ha acompañado durante mi formación y trayectoria profesional:

“Los sueños se construyen con conocimiento, pero se alcanzan con perseverancia; nunca dejes de aprender, porque cada desafío es una oportunidad para convertirte en la mejor versión de ti mismo.”



LOS MOF: MATERIALES A LA MEDIDA PARA HACER FRENTE A LOS DESAFÍOS DEL SIGLO XXI

AYLIN DENISSE LEE ALEMÁN
Ingeniería Química, 4.º semestre

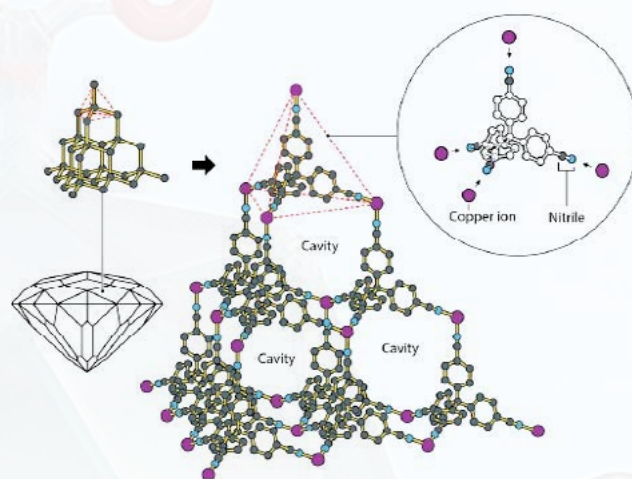
Extraer agua del aire en pleno desierto o capturar la contaminación antes de que llegue al aire ya no es ciencia ficción, es química del siglo XXI. Hoy en día esto es posible gracias a una arquitectura molecular específica, los marcos metal-orgánicos (MOF, por sus siglas en inglés) (Gallar, 2025). Según la Royal Swedish Academy of Sciences (2025), estas estructuras funcionan como andamios moleculares: emplean iones metálicos que hacen la función de pilares fundamentales y largas moléculas orgánicas basadas en carbono como conectores. Juntos, los iones metálicos y las moléculas orgánicas se organizan formando cristales con grandes cavidades en su interior.

Los MOF, al tener esta estructura porosa, son capaces de capturar y almacenar sustancias específicas y, al modificar sus componentes básicos, los químicos pueden diseñarlas para la extracción de sustancias puntuales, además los MOF también son capaces de impulsar reacciones químicas y conducir electricidad (Royal Swedish Academy of Sciences, 2025).

Una investigación colosal realizada por décadas

El camino seguido por este descubrimiento comenzó en 1989, cuando Richard Robson combinó iones de cobre con carga positiva con una molécula orgánica de cuatro ramificaciones formando un cristal inspirado en la for-

ma de un diamante, pero con la peculiaridad de tener una enorme cantidad de cavidades en su estructura; sin embargo, esta estructura era inestable y colapsaba con facilidad. Fue hasta 2003 que Susumu Kitagawa y Omar Yaghi, trabajando por separado, habían oficialmente sentado las bases para sintetizar estos materiales. Kitagawa demostró que los gases pueden entrar y salir de las cavidades estructurales y predijo que los MOF podrían hacerse flexibles. Mientras que Yaghi logró crear un MOF con alta estabilidad y demostró que puede modificarse la estructura para obtener propiedades deseables.



©Johan Järnstedt/The Royal Swedish Academy of Sciences

Figura 1. Primer MOF inspirado en el diamante desarrollado por Richard Robson. Fuente: Järnstedt / Royal Swedish Academy of Sciences (2025).



Sin embargo, no fue sino hasta el año pasado (2025) que los tres científicos mencionados, Susumu Kitagawa, Richard Robson y Omar Yaghi fueron galardonados con el Premio Nobel de Química por haber desarrollado una nueva forma de arquitectura molecular y además demostrado que los MOF pueden contribuir a resolver varios de los desafíos más grandes que afronta la humanidad en la actualidad.

Materiales con propiedades inigualables

Una de las propiedades más interesantes de estas estructuras es su flexibilidad. Esta propiedad no se refiere a que sean estructuras que puedan doblarse como un pedazo de plástico, sino que se habla de una de las propiedades más sorprendentes que posee este grupo de materiales: la capacidad para modificar su estructura molecular de acuerdo con la sustancia que captura en sus poros. A esta propiedad también se la conoce como *respiración*, que hace referencia a la forma en la que la estructura cambia a consecuencia de la adsorción o desorción de huéspedes (materiales que se quedan contenidos dentro de la cavidad de la estructura).

En este tipo de estructuras, la respiración es observable a nivel microscópico. Cuando un huésped entra, el MOF se abre para darle espacio y, una vez que este sale, la estructura se encoge volviendo a su forma original (Alhamami, Doan y Cheng, 2014). Otra de las propiedades fascinantes de los MOF es que pueden presentar superficies internas inmensas capaces de superar los siete mil metros cuadrados por gramo, que es equivalente al área de un campo de fútbol (Chavarro, 2025). Para entender de mejor manera esto, es conveniente armar una imagen mental de cómo se ven los MOF por dentro. Como ya se mencionó antes, son estructuras similares a un andamio con grandes cavidades; así que se podría simplificar esta imagen a los vértices de una figura geométrica, por ejemplo, un cubo. Ahora, si esas estructuras lineales se desar-

maran y se colocaran una tras otra formando un “hilo”, podríamos observar así el área superficial; y si extendiéramos ese hilo enorme sobre un campo de fútbol podríamos ocupar toda la superficie. Los MOF han demostrado ser estructuras excepcionales que experimentan transformaciones reversibles ante estímulos externos como la adsorción de huéspedes, cambios en la temperatura, presión mecánica, irradiación de luz o campos eléctricos (Palach *et al.*, 2021).

Arquitecturas únicas

Para sintetizar cristales de MOF existen diferentes métodos. El método utilizado, junto con condiciones adicionales como pueden ser las proporciones molares de los compuestos precursores, el pH, el disolvente empleado, tiempo de reacción, temperatura, presión, etc., determina características del producto final como su cristalinidad, porosidad, forma y tamaño (González, Montes y Castruita, 2025). Por esa razón, dentro de la familia de los MOF, se tiene una amplia diversidad de estructuras que presentan diferentes propiedades al combinar distintos centros metálicos con diversos ligandos orgánicos. Contando con tantos tipos de MOF, los nombres suelen ser numerosos y complejos, esto explica por qué, para categorizarlos, se emplean acrónimos que indican el lugar donde fueron sintetizados por primera vez, seguido de un número que indica el orden de descubrimiento o el código de laboratorio para esa estructura. Algunos de los acrónimos más comunes son: ZIF (Zeolitic Imidazolate Frameworks), UiO (University of Oslo), MIL (Materials Institute Lavoisier), HKUST (Hong Kong University of Science and Technology) y CAU (Christan-Albrechts-Universitat) (González *et al.*, 2025).

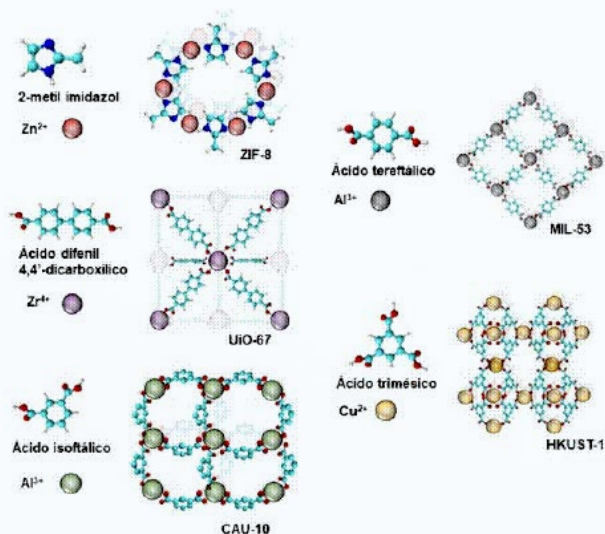


Figura 2. Algunos MOF, sus compuestos precusores y sus nombres. Fuente: González *et al.* (2025).

Los MOF son solucionadores de problemas actuales

Todo este increíble diseño atómico no se queda únicamente en los laboratorios como teoría, pues lo verdaderamente fascinante inicia cuando se usan para resolver problemas que la humanidad afronta en la actualidad. La extracción de agua a partir del aire incluso en zonas desérticas (aire con aproximadamente 30% de humedad) es una de las aplicaciones más interesantes de los MOF. Hoy en día ya existen recolectores que emplean los MOF para absorber la humedad del aire en las noches y al amanecer liberar el agua en forma líquida. El más empleado para este fin es el MOF-303.

MOF-303

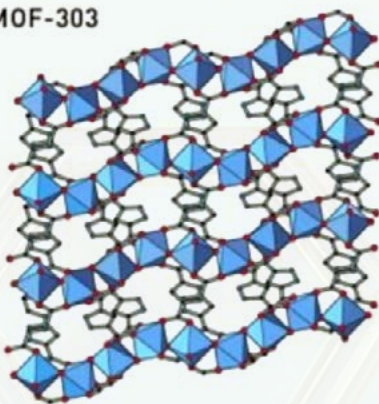
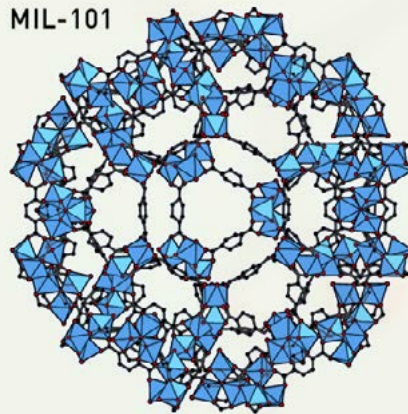


Figura 3. Estructura molecular del MOF-303. Fuente: Royal Swedish Academy of Sciences (2025).

Por otro lado, algunos tipos de MOF también son capaces de extraer el CO_2 y otros gases responsables del calentamiento global directamente del aire. Hoy en día empiezan a surgir empresas como Svante, que han desarrollado filtros de adsorción que emplean los MOF para capturar CO_2 y posteriormente, con ayuda de vapor de contacto directo, eliminarlo del adsorbente. Estos filtros son capaces de capturar hasta el 95% del dióxido de carbono emitido en fuentes industriales. Actualmente, estos filtros están siendo implementados principalmente en plantas de energía y fabricación de cemento, en donde se reaprovecha el CO_2 para la producción energética y, en el caso de los concretos, se inyecta el gas capturado en la mezcla para obtener un producto más resistente. Los MOF más empleados para esto son el MIL-101 y CALF-20 (Svante, 2021).

MIL-101



CALF-20



Figura 4. Estructura molecular del MIL-101 y del CALF-20. Fuente: Royal Swedish Academy of Sciences (2025).



De igual forma, los MOF se pueden emplear para capturar contaminantes y purificar agua, como catalizadores en la descomposición del petróleo, para el almacenamiento de hidrógeno, y se está estudiando su potencial para utilizarlos como microcápsulas para transportar fármacos dentro del cuerpo humano.

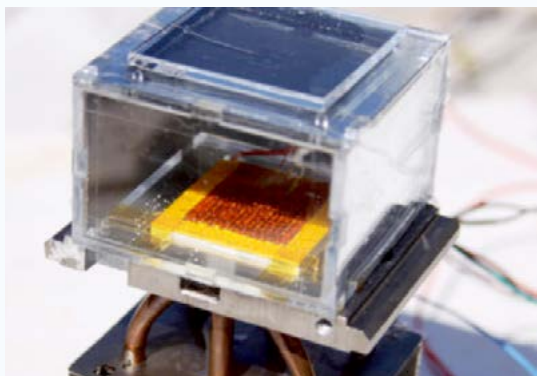


Figura 5. Recolector de agua construido en el MIT que utiliza los MOF para extraer agua del aire seco. Fuente: Sanders (2017).

Lo que comenzó hace tres décadas como un experimento sobre la unión de metales y moléculas orgánicas es hoy en día una de las herramientas más valiosas y prometedoras de la química para buscar soluciones a problemas de inmensa magnitud e impacto global como el cambio climático y la escasez de recursos. Los marcos metal-orgánicos son parte de una nueva era en la ciencia: la era de los materiales diseñados a medida. Este tipo de arquitectura molecular no es solo un interesante invento de laboratorio con propiedades extraordinarias, sino que es un ejemplo de la manera en que la ciencia puede ponerse al servicio de la humanidad y buscar el bien común.

Referencias

- Alhamami, M., Doan, H., y Cheng, C. (2014). A Review on Breathing Behaviors of Metal-Organic-Frameworks (MOFs) for Gas Adsorption. *Materials (Basel)*, 7(4), 3198-3250. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5453333/>
- Gallar, Á. (2025). Arquitectura molecular para recolectar agua del desierto o capturar dióxido de carbono. *Sapiens*, 13 de octubre. <https://sapiens.umh.es/nobel-de-quimica-armazones-metal-organico/>
- Chavarro, F. (2025). Los marcos metal-orgánicos: una revolución molecular en la química moderna. *Virtualpro*, 9 de octubre. <https://www.virtualpro.co/actualidad/los-marcos-metal-organicos-una-revolucion-molecular-en-la-quimica-moderna-63710>
- González, I., Montes, A., y Castruita, G. (2025). Estructuras metal-orgánicas: síntesis, propiedades y aplicaciones potenciales para la separación de gases y eliminación de contaminantes. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 28. <http://132.248.60.101/index.php/tip/article/view/776>
- Palach, R., Keupp, J., Terlinden, K., et al. (2021). Frustrated flexibility in metal-organic frameworks. *Nature Communications*, 12 (4097). <https://www.nature.com/articles/s41467-021-24188-4>
- Royal Swedish Academy of Sciences (2025). Their molecular architecture contains rooms for chemistry. *Nobel Prize*. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/press-release/>
- Sanders, R. (2017). Device pulls water from dry air, powered only by the sun. *UC Berkeley News*, 13 de abril. <https://news.berkeley.edu/2017/04/13/device-pulls-water-from-dry-air-powered-only-by-the-sun/>
- Svante (2021). MOF Sorbent on a Roll – A Scalable Solution for Gigaton Scale Carbon Capture. *Svante*, 16 de diciembre. <https://www.svanteinc.com/press-releases/a-scalable-solution-for-carbon-capture/>



LAS PLANTAS: FÁBRICAS QUÍMICAS DE METABOLITOS SECUNDARIOS

DANIEL CISNEROS TORRES

Profesor de la Facultad de Biotecnología y de la Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Anáhuac México.

Profesor de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional.

daniel.cisneros@anahuac.mx, dcisnerost@ipn.mx

Introducción

En nuestro día a día vemos plantas en todas partes, por lo menos tenemos una en casa, en una maceta en el pasillo, decorando alguna habitación o como centro de mesa. No es necesario ser el “señor” o “señora de las plantas” para que nos gusten y fascinen. Las plantas llenan de color los espacios y son agradables a la vista, nos brindan oxígeno y ayudan a regular la temperatura de las casas y las ciudades en los jardines y parques, sus flores las recibimos o regalamos en ocasiones especiales e incluso sus frutos nos deleitan y nutren, pero ¿sabías que pueden hacer mucho más por nosotros que solo ser agradables a la vista? Las plantas son organismos complejos, en cada una de sus células ocurren miles de reacciones químicas que las hacen funcionar como minifábricas capaces de producir una amplia variedad de sustancias químicas, las cuales tienen aplicaciones en industrias tan diversas como la alimenticia o farmacéutica. Muchas de estas plantas se han utilizado en la medicina tradicional de diversas culturas alrededor del mundo, y hoy en día ha sido posible aislar algunos compuestos químicos que han demostrado tener actividades biológicas comprobadas de manera experimental. Muchos de estos compuestos son producidos por las plantas debido a situaciones de estrés, activando su metabolismo secundario, como explicaremos a continuación.

El metabolismo secundario de las plantas

Las plantas se distinguen por tener dos tipos de metabolismo: el primario, donde a través de reacciones bioquímicas se producen biomoléculas, conocidas como metabolitos, que están involucradas en funciones básicas para la vida de la planta: la división celular y el crecimiento, la respiración, el almacenamiento de biomoléculas y la reproducción (Bourgaud *et al.*, 2001). El segundo tipo es el metabolismo secundario, en biología este concepto se atribuye a Kossel (1981), quien fue el primero en definir los metabolitos secundarios como opuestos a los primarios. Treinta años después, Czapek (1921) los llamó *endproductt*, productos que bien podrían ser derivados del metabolismo del nitrógeno, por lo que él los denominó “modificaciones secundarias” (p. ej. la desaminación). Las moléculas que son producidas en el metabolismo secundario son poco abundantes, menos del 1% del carbono total, en comparación con las principales moléculas que son biosintetizadas en el metabolismo primario, además de que su almacenamiento se daba en células especializadas o en ciertos órganos vegetales. Fue hasta mediados del siglo xx que, con el mejoramiento de técnicas analíticas tales como la cromatografía, fue posible recuperar más y más de estas moléculas, estableciendo las bases de la fitoquímica (Bourgaud *et al.*, 2001).



Además de las rutas del metabolismo primario, idénticas o similares en todas las plantas, los vegetales pueden seguir otras rutas metabólicas que llevan a la formación de ciertos compuestos que suelen ser específicos de un grupo taxonómico determinado, es decir, puede depender de especie, género o familia. Estas rutas constituyen el metabolismo secundario y sus productos se denominan metabolitos secundarios. Químicamente hablando, estos compuestos son principalmente alcaloides, terpenos, esteroides, taninos, antocianinos, antraquinonas, fenoles y polifenoles. Sin embargo, como los metabolitos secundarios derivan biosintéticamente de ciertos compuestos primarios (Figura 1), ambas clases de metabolismo están interconectadas en una extensión que hace difícil establecer una clara división entre ellas (Piñol *et al.*, 2013). La biosíntesis de estos compuestos suele estar restringida a estados específicos del desarrollo, bien del organismo o del tejido especializado, así como a periodos de estrés causados por la deficiencia de nutrientes o el ataque de parásitos (García del Moral, 2021).

En general, la aplicación de los productos derivados del metabolismo secundario de las plantas puede clasificarse en cinco grandes grupos: fármacos, aromas, perfumes, pigmentos y plaguicidas (Tabla 1). La mayoría de estos productos son muy difíciles o imposibles de sintetizar por métodos químicos (García del Moral, 2021).

La biotecnología vegetal y las alternativas de producción de los metabolitos secundarios

Puesto que los metabolitos secundarios coexisten en diversas partes de las plantas, como hojas, flores y tallos, los métodos de extracción y aislamiento para obtener una molécula específica a partir de estos metabolitos desempeñan un papel fundamental. En este aspecto, diversas técnicas para la extracción de metabolitos secundarios de tejidos vegetales se han desarrollado, las cuales también se utilizan en la producción de productos comerciales a gran escala. Se han desarrollado técnicas alternativas a las técnicas de extracción tradicionales como la maceración,

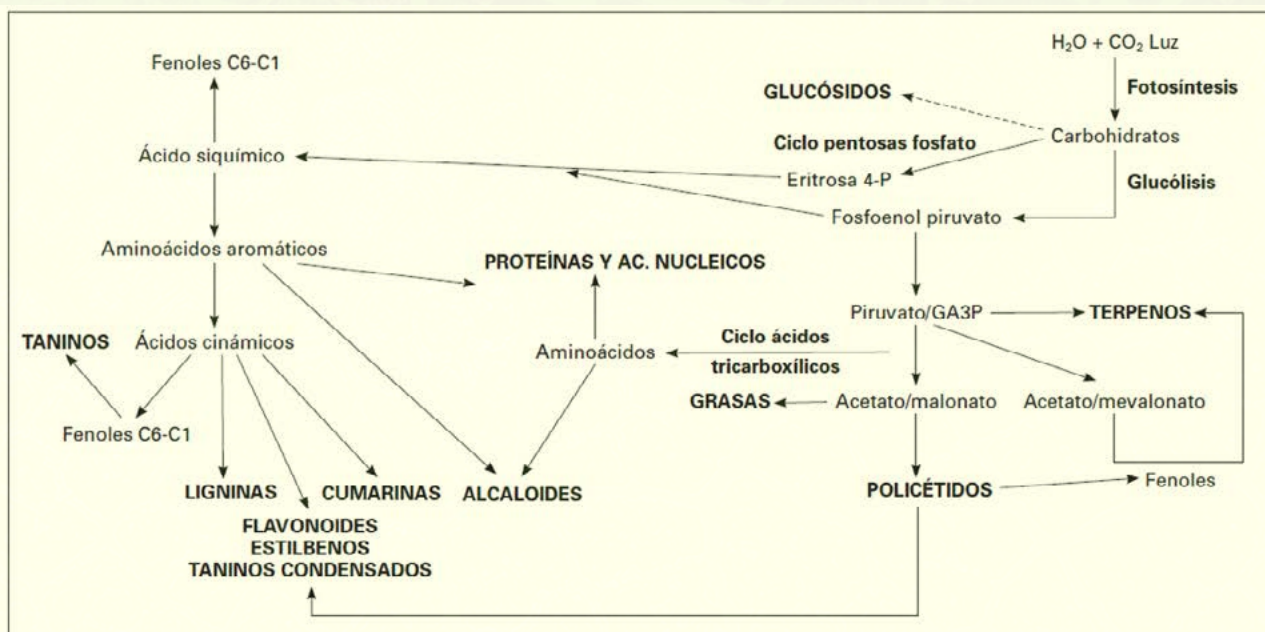


Figura 1.

Relaciones entre el metabolismo primario y secundario de las plantas, origen biosintético de los principales grupos de compuestos secundarios. GA3P: gliceraldehído-3-fosfato.

Fuente: Tomada de Azcón-Bieto y Talón (2013: 324).



Soxhlet y destilación por arrastre de vapor, ya que presentan ciertas limitaciones durante su aplicación. Así, técnicas como la extracción asistida por microondas (MAE, por sus siglas en inglés); extracción asistida por ultrasonidos (UAE); extracción con fluidos supercríticos (SFE); extracción por campos eléctricos pulsados (PEFE), y extracción asistida por enzimas

Tabla 1. Algunos metabolitos secundarios producidos por los vegetales y sus aplicaciones

Metabolito	Aplicación	Especie vegetal
Fármacos		
atropina	anticolinérgico	<i>Atropa belladonna</i>
hiosciamina	relajante muscular	<i>Hyoscyamus niger</i>
quinina	antimalárico	<i>Cinchona officinalis</i>
morfina	analgésico y sedante	<i>Papaver somniferum</i>
codeína	analgésico y antitusígeno	<i>P. somniferum</i>
digoxina	cardiotónico	<i>Digitalis purpurea</i>
colchicina	antiinflamatorio	<i>Colchicum autumnale</i>
Aromatizantes		
crocina, pirocrocina	azafrán	<i>Crocus sativa</i>
capsaicina	chile picante	<i>capsicum frutescens</i>
vainillina	vainilla	<i>Vanillas spp.</i>
Pigmentos		
antocianos	rojo/azul	varias
xantofilas	amarillo	varias
antraquinonas	rojo	<i>Morinda citrifolia</i>
Perfumes		
aceites esenciales y terpenoides	componentes de esencias	varias
Pesticidas		
piretroides	insecticidas	<i>Chrysanthemum spp.</i>
nicotina	insecticida	<i>Nicotiana tabacum</i>
piperina	insecticida	<i>Piper nigrum</i>

Fuente: Adaptado de García del Moral (2021: 167-168).



(EAE) (Getachew *et al.*, 2020; Ozyigit *et al.*, 2023). Estos últimos métodos aumentan tanto el valor comercial de estas moléculas bioactivas como la eficacia de su uso en el campo médico, ya que han sido desarrollados para la extracción de metabolitos secundarios de las plantas preservando sus actividades biológicas (Ozyigit *et al.*, 2023).

La posibilidad de cultivar células en laboratorio en un ambiente artificial, en condiciones controladas y de esterilidad conocidas como *in vitro*, en lugar de plantas intactas para la producción de metabolitos secundarios valiosos posee grandes ventajas sobre la producción *in vivo*, entre las que se destacan:

- Independencia de las condiciones ambientales para la biosíntesis, ya que pueden ser fluctuantes.
- Optimización de la producción gracias a la ausencia de plagas, enfermedades y estrés ambiental.
- Eliminación del posible impacto ambiental de grandes extensiones de cultivo de plantas potencialmente peligrosas para el medio ambiente.

Las áreas tropicales y subtropicales donde se encuentran de forma natural estas especies son cada vez más limitadas y algunas plantas medicinales son muy escasas, algunas incluso en peligro de extinción por una recolección excesiva (García del Moral, 2021).

La biotecnología vegetal (BV) aporta una serie de técnicas, como las derivadas del cultivo de tejidos vegetales y de la transformación genética de plantas, para lograr estas ventajas de la producción *in vitro* de compuestos bioactivos. Puede definirse a la BV como la aplicación de los fundamentos y técnicas del cultivo de material vegetal *in vitro* de la Biología molecular y de la Ingeniería genética al conocimiento, mejora y productividad de las plantas con fines agrícolas e industriales (García del Moral, 2021).

Actualmente, los enfoques basados en el cultivo de tejidos vegetales (CTV) proporcionan metodologías que promueven la modificación de la fuente de compuestos bioactivos fácilmente, y de la extracción de metabolitos secundarios en calidades y cantidades superiores, en comparación con las plantas completas. Para lograrlo, se utilizan métodos de CTV como la inducción de callos (Figura 2) y la propagación *in vitro*, que garantizan la tasa de producción de metabolitos secundarios en mayores cantidades (Ozyigit *et al.*, 2023). También se han utilizado técnicas de ADN recombinante mediante la modificación de las rutas metabólicas de biosíntesis para promover el incremento en el rendimiento de algunos metabolitos secundarios (Sreenikethanam *et al.*, 2022).



Figura 2.
Vista superior de un cultivo de callos en condiciones *in vitro*.
Fuente: Tomada de Plant Cell Technology (2021).

Producción *in vitro* de metabolitos secundarios

El CTV se debe iniciar con la selección del material parental de alto rendimiento para obtener un explante adecuado (Martín *et al.*, 2018). Los explantes (es decir, partes de plantas extirpadas) recolectados de fuentes cultivadas *in vivo* pueden ser nudos, ápices de brotes, hojas, entrenudos, pecíolos, etc. (Shahzad *et al.*, 2017), con ellos se inicia el cultivo *in vitro*, ya que esta herramienta biotecnológica se basa en la teoría de la totipotencia o totipotencialidad de la célula vegetal, enunciado por Haberlandt en 1902, el cual postula que toda célula



vegetal viva es capaz de regenerar una planta entera a partir de un cultivo *in vitro* sin importar el grado de diferenciación alcanzado por esa célula. La totipotencia es posible porque el proceso de diferenciación celular en vegetales no implica pérdida de material genético, sino expresión diferencial de los genes (García del Moral, 2021).

El explante, obtenido en condiciones asépticas, se traslada, preservando el mismo ambiente, a un medio de cultivo semisólido con una composición química y hormonal adecuada y equilibrada para el establecimiento del cultivo. Así, se puede iniciar un proceso mitótico en las células integrantes del explante y producir un callo, que es un tejido que se observa como una masa de células desdiferenciadas (no desarrolladas ni diferenciadas) que crece en un medio sólido en condiciones *in vitro* (Martín *et al.*, 2018).

La base del medio de cultivo solidificada con un agente gelificante (p. ej. agar) debe contener, en la proporción adecuada, los nutrientes necesarios (macro y micronutrientes), la fuente de carbono (sacarosa, glucosa, fructosa o maltosa), fuentes de nitrógeno orgánico (aminoácidos) y hormonas vegetales (reguladores de crecimiento vegetal, RCV) (Martín *et al.*, 2018; Shahzad *et al.*, 2017).

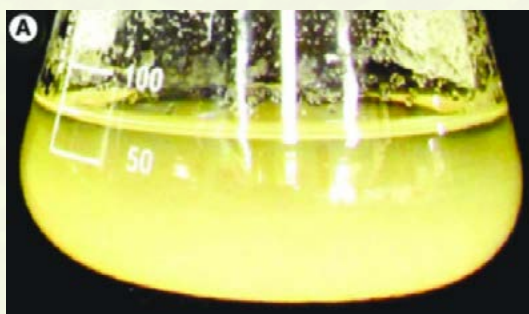


Figura 3.
Cultivo de células en suspensión de tabaco (*Nicotiana tabacum*), en matraz Erlenmeyer.
Fuente: Tomada de Xu y Zhang (2014).

El cultivo de callos puede ser precursor de organogénesis, e incluso de regeneración de plantas completas. También se utiliza para la obtención de suspensiones celulares (Figura 3), siendo la obtención de callos un paso previo. En medio líquido, las células vegetales se comportan de forma similar a las células microbianas. Para iniciar un cultivo en suspensión, el callo debe ser friable, es decir, sus células están asociadas de manera laxa permitiendo una mayor dispersión celular, generándose una suspensión celular fina en el medio líquido. Las suspensiones celulares pueden utilizarse para la producción a gran escala de compuestos de interés industrial en biorreactores (Torres *et al.*, 2018).

La mejora de la productividad de metabolitos secundarios en los cultivos *in vitro* de las plantas productoras implica la utilización de herramientas diversas, tales como la adición de precursores químicos en los cultivos celulares, la obtención de líneas celulares productivas y la mejora de las condiciones de cultivo. Sin embargo, la elección de la técnica a utilizar debe estar relacionada con el tipo de cultivo empleado, las características del metabolito de interés o la aplicación del mismo. Para una adecuada producción del cultivo, en determinadas ocasiones, se puede recurrir al acoplamiento de varias técnicas (Torres *et al.*, 2018). En términos generales, la optimización y mejora de la producción de metabolitos secundarios de interés farmacéutico en cultivo *in vitro* conlleva a considerar las siguientes etapas (Torres *et al.*, 2018):

- Obtención de explantes a partir de plantas madre y selección de líneas celulares productivas.
- Optimización de los medios de cultivo.
- Adición de precursores.
- Tipos de cultivos: suspensiones celulares, órganos y células inmovilizadas.
- Permeabilización y extracción *in situ*.



- Elicitación.
- Transformaciones genéticas.

Las etapas anteriores para la mejora en la producción de metabolitos secundarios mediante BV tienen sus propias complejidades, sin embargo, nos permiten vislumbrar la importancia de las plantas en industrias como la farmacéutica y el descubrimiento de nuevos fármacos especialmente interesantes para el tratamiento de diversas enfermedades de alta prevalencia y su producción a gran escala (Torres *et al.*, 2018).

Conclusiones

La biotecnología vegetal, a través de herramientas como el cultivo de tejidos vegetales, permite obtener metabolitos secundarios de plantas que tienen diversas aplicaciones industriales, como los aromas, pigmentos o compuestos con actividad farmacológica. La independencia de condiciones climáticas, del tipo de suelo, de la radiación solar, la producción durante todo el año, o la necesidad de grandes extensiones de tierra, han permitido el auge de la producción de estos compuestos en grandes cantidades mediante herramientas biotecnológicas. Cada uno de los tipos de cultivos mencionados, como el cultivo de callos, las suspensiones celulares y el escalamiento en biorreactores, conlleva desafíos y oportunidades a corto y mediano plazo, representando un área de oportunidad para los nuevos profesionistas en el área de la biotecnología.

Referencias

- Azcón-Bieto, J., y Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). McGraw-Hill.
- Bourgaud, F., Gravot, A., Milesi, S., y Gontier, E. (2001). Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. *Plant Science*, 161(5), 839–851. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168945201004903?via%3Dihub>
- Czapek, F. (1921). *Spezielle Biochemie, Biochemie der Pflanzen*, vol. 3, G. Fischer Jena, 369.
- García del Moral, L. F. (2021). *Biotechnología vegetal: fundamentos y aplicaciones*. Universidad de Granada.
- Getachew, A. T., Jacobsen, C., y Holdt, S. L. (2020). Emerging Technologies for the Extraction of Marine Phenolics: Opportunities and Challenges. *Marine Drugs*, 18(8), 389. <https://www.mdpi.com/1660-3397/18/8/389>
- Harborne, J. B. (1999). Classes and functions of secondary products. En N. J. Walton y D. E. Brown (Eds.), *Chemicals from Plants, Perspectives on Secondary Plant Products* (pp. 1–25). Imperial College Press.
- Kossel, A. (1891). Ueber die chemische Zusammensetzung der Zelle. *Du Bois-Reymond's Archiv/Arch Anat Physiol Physiol Abt*, 278, 181–186.
- Li, J., Ou-Lee, T. M., Raba, R., Amundson, R. G., y Last, R. L. (1993). Arabidopsis Flavonoid Mutants Are Hypersensitive to UV-B Irradiation. *The Plant Cell*, 5(2), 171–179. <https://academic.oup.com/plcell/article-abstract/5/2/171/5984483?redirectedFrom=fulltext>
- Martín, S., Torres, M., y Saco, D. (2018). Biotecnología vegetal. Cultivos vegetales *in vitro*. Obtención de productos de interés farmacéutico. En H. M. Brieva (Ed.), *Fundamentos de biotecnología farmacéutica* (pp. 353–375). Dextra.
- Ozyigit, I. I., Dogan, I., Hocaoglu-Ozyigit, A., Yalcin, B., Erdogan, A., Yalcin, I. E., Cabi, E., y Kaya, Y. (2023). Production of secondary metabolites using tissue culture-based biotechnological applications. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1132555. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1132555/full>
- Piñol, M. T., Palazón J., y Cusidó, R. M. (2013). Introducción al metabolismo secundario. En J. Azcón-Bieto y M. Talón (coords.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (pp. 323–348). McGraw-Hill.
- Plant Cell Technology (2021, 15 de junio). Overview of callus and organ culture! [Fotografía de un típico cultivo de callos en frasco]. *Plant Cell Technology*. <https://plantcelltechnology.com/>
- Shahzad, A., Sharma, S., Parveen, S., Saeed, T., Shaheen, A., Akhtar, R., Yadav, V., Upadhyay, A., y Ahmad, Z. (2017). Historical perspective and basic principles of plant tissue culture. En *Plant Biotechnology: Principles and Applications* (pp. 1–36). Springer Singapur.
- Sreenikethanam, A., Raj, S., J. R. B., Gugulothu, P., y Bajhaiya, A. K. (2022). Genetic engineering of microalgae for secondary metabolite production: Recent developments, challenges, and future prospects. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 836056. <https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2022.836056/full>
- Torres, M., Martín, S., y Saco, D. (2018). Biotecnología vegetal. Optimización de la producción de metabolitos secundarios de interés farmacéutico en cultivos *in vitro*. En H. M. Brieva (Ed.), *Fundamentos de Biotecnología farmacéutica* (pp. 377–406). Dextra.



Torssell, K. B. G. (1997). Chemical ecology. En K. B. G. Torssell (Ed.), *Natural Product Chemistry, A Mechanistic Biosynthetic and Ecological Approach* (pp. 42–79). Swedish Pharmaceutical Press.

Xu, J., y Zhang, N. (2014). Suspension cultured tobacco BY-2 cells grown in a shake flask for a week [Fotografía]. *Lifeasible*. <https://www.lifeasible.com/establishment-of-plant-suspension-cell-lines/>



¿Y SI TU MAQUILLAJE PUDIERA ADAPTARSE A TI?

YOANA NAVIDAD SESEÑA GÓMEZ
Ingeniería Biomédica, 9.º semestre

Para muchas personas, maquillarse forma parte de su rutina diaria. Sin embargo, encontrar el tono ideal de base o labial es muy complicado. A pesar de estos retos, la industria cosmética ha evolucionado constantemente. Desde la prehistoria, cuando las personas utilizaban pigmentos naturales para decorar su cuerpo (Muñoz, 2022), hasta la actualidad, el maquillaje se ha convertido en una forma de expresión personal y de cuidado de la imagen.

Gracias a estos avances, la tecnología también ha llegado al mundo de la belleza. Pero seguramente te estarás preguntando de qué máquina hablaremos en esta ocasión. Se trata de Perso, un dispositivo de la marca L'Oréal que utiliza inteligencia artificial para crear fórmulas personalizadas de base de maquillaje

y labial con el objetivo de adaptarse a las necesidades de cada persona (L'Oréal, 2020a).

¿Cómo nació Perso?

La historia de Perso comenzó en enero de 2020, cuando la empresa L'Oréal presentó este dispositivo durante el Consumer Electronics Show (CES), realizado en Las Vegas. La máquina fue desarrollada por el Technology Incubator de L'Oréal con el objetivo de ofrecer una mayor personalización en los servicios de belleza (L'Oréal, 2020b). En una primera etapa, solo se enfocaba en funciones para el cuidado de la piel; sin embargo, la empresa tomó un camino más innovador y decidió que se crearían fórmulas personalizadas de base de maquillaje y labial (L'Oréal, 2020b).



Figura 1. Perso de L'Oréal.
Fuente: Time Staff (2020).



¿Cómo funciona y cuáles son sus características?

El funcionamiento de Perso comienza al abrir su aplicación móvil y tomar una foto del rostro con la cámara del celular. Una vez que se toma la foto, se utiliza la tecnología ModiFace y se hace uso de la inteligencia artificial. Esta tiene como objetivo analizar diferentes características de la piel como las arrugas profundas, las líneas de expresión, las manchas y la visibilidad de los poros. De igual forma, Perso tiene la habilidad de reconocer factores ambientales como la temperatura, la humedad, el índice UV, el polen y las condiciones climáticas. Esto se analiza, ya que estos factores pueden influir directamente en el estado de la piel (L'Oréal, 2020a).

A partir de estos datos, la máquina se encarga de generar una fórmula (base de maquillaje o labial) personalizada, la cual será preparada dentro del dispositivo. Seguramente en este punto te preguntas cómo es que se genera esta fórmula dentro de la máquina. Este proceso entra en funcionamiento a partir de un sistema de tres cartuchos, ubicados en la parte inferior del equipo, estos cartuchos son la parte esencial, ya que sin ellos no se podría crear el color deseado (L'Oréal, 2020a).



Figura 2. Cartuchos inferiores de Perso.
Fuente: L'Oréal USA (2020).

Encima de estos cartuchos se halla el sistema de motor patentado. Este motor se encarga de mover y comprimir la fórmula contenida en los cartuchos, impulsándola hacia arriba hasta la bandeja dispensadora ubicada en la parte superior de la máquina (L'Oréal, 2020a).



Figura 3. Motor ubicado en la parte superior de Perso.
Fuente: L'Oréal USA (2020).

Una vez que el motor termina de trabajar, se obtiene una dosis individual del producto, la cual se deposita en la bandeja, como se observa en la Figura 4 (L'Oréal, 2020a). Por último, esta fórmula se debe mezclar con una brocha o con los dedos y, posteriormente, se coloca en el rostro (L'Oréal USA, 2020).



Figura 4. Fórmula obtenida depositada en la bandeja.
Fuente: L'Oréal USA (2020).



La característica primordial de esta máquina es su tamaño, ya que mide 16.51 cm (L'Oréal, 2020a), lo que la hace práctica para guardar y transportar. De igual forma, al terminar el procedimiento que se explicó anteriormente, la tapa superior se retira y te puedes llevar ya sea tu base de maquillaje o tu labial fácilmente a diferentes sitios (L'Oréal USA, 2020).



Figura 5. Retiro de la tapa superior de Perso para transporte cómodo.

Fuente: L'Oréal USA (2020).

Ahora ya sabemos que la tecnología se aplica en cualquier campo y el maquillaje no se ha quedado atrás. Por lo tanto, podemos decir que nuestro maquillaje ahora se adapta a nosotros y esperemos que esta tecnología siga avanzando para continuar transformando el mundo de la belleza.

Referencias

- L'Beauté (2020, 9 de enero). L'Oréal Perso: el auge de la cosmética personalizada. *L'Beauté*. <https://lbeaute.mx/beauty-news/perso-loreal-nuevo-dispositivo-productos-personalizados/>
- L'Oréal (2020a). Unveil Perso, the world's first AI-powered device for skincare and cosmetics. *L'Oréal Groupe*. <https://www.loreal.com/en/news/research-innovation/unveil-perso-the-worlds-first-ai-powered-device-for-skincare-and-cosmetics/>
- L'Oréal (2020b, 6 de enero). L'Oréal takes another step into beauty tech at CES 2020 with introduction of Perso: A first-of-its-kind, 3-in-1 device for personalized at-home skincare and cosmetics. *L'Oréal Groupe*. <https://www.loreal.com/en/press-release/digital/loral-takes-another-step-into-beauty-tech-at-ces-2020-with-introduction-of-perso-a-firstofit/>
- L'Oréal USA (2020, 5 de enero). Introducing Perso, a 3-in-1 at-home personalized beauty device by L'Oréal [Video]. *YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=kFRGxklIF5M>
- Muñoz, R. (2022, 14 de junio). La curiosa historia del maquillaje: de la Prehistoria al siglo XXI. *Tahe Cosmetics*. <https://tahecosmetics.com/trends/historia-maquillaje/>
- Time Staff (2020, 19 de noviembre). L'Oréal Perso. *Time*. <https://time.com/collections/best-inventions-2020/5911331/loreal-perso/>



SCOOTERS: 100 AÑOS DE UN VEHÍCULO A GRAN VELOCIDAD

CARMINA VILLEGAS TORAYA
Ingeniería Ambiental, 9.º semestre

La verdad es que el *scooter* (o patineta motorizada) nació, evolucionó y se ha mantenido vigente por pura necesidad. El término *scooter* proviene de la palabra en inglés *scoot*, que significa “moverse rápidamente”. El origen del nombre se remonta a la década de 1820 en Estados Unidos, donde originalmente se utilizaba como un sustantivo coloquial para describir a una persona o cosa que se movía a gran velocidad.

Los *scooters* son hoy ampliamente utilizados, ¿pero sabías que estas patinetas tienen una larga e interesante historia? Puede sonar extraño pero estos vehículos han estado con nosotros por más de un siglo. Aunque resulta difícil determinar con precisión las fechas exactas y los reales creadores de este invento, te relatamos a continuación la interesante evolución de este medio de transporte:

1813

Debido a la escasez de caballos debido a la erupción del volcán Tambora (Indonesia) y la necesidad de contar con un medio rápido para desplazarse, el alemán Karl Friedrich von Drais inventa una “máquina de correr” con dos ruedas a la que se le llamó “Draisine”, por el apellido de su creador. Esta máquina no tenía pedales, el usuario se sentaba en un sillón y se impulsaba empujando los pies contra el suelo (TomTom, s. f.).

Este “velocípedo” no tuvo buena acogida entre los posibles usuarios de la época, y el prototipo se subastó por la mísera suma de cinco marcos. Sin embargo, fue el prototipo de la bicicleta actual.



Figura 1.
Draisine, ca. 1818.
Fuente: Imagen tomada de Smithsonian Institution (s. f.).

1915

Otro alemán, basado en la iniciativa de Karl Friedrich von Drais, tuvo la idea de utilizar una plataforma en lugar del sillón que llevaba la bicicleta sin pedales. De aquí se deriva el “Auto-ped”, que fue el primer *scooter* producido en masa en Estados Unidos y Alemania. Esta fue la primera patineta motorizada, contaba con motor a gasolina sobre la rueda delantera y alcanzaba 32 km/h.

Este vehículo surge como una exigencia temprana durante la Primera Guerra Mundial, cuando el racionamiento de combustible y la necesidad apremiante de un medio de transporte personal barato y altamente eficiente crearon el mercado perfecto para un *scooter*. Fue ampliamente utilizado por carteros y policías (The Online Bicycle Museum, s. f.).



Figura 2.
Autoped Motor Scooter, 1918.
Fuente: Imagen tomada del Smithsonian National Museum of American History (s. f.).

1944

En los albores de la Segunda Guerra Mundial el "Autoped" evolucionó en un vehículo militar resistente con el modelo 53 de Cushman, conocido popularmente como el "Airborne Scooter" o "Parascooter" (Lambretta Ltd., s. f.).

La principal necesidad que impulsó la creación del modelo 53 de Cushman fue la movilidad rápida de las tropas y la comunicación en territorio hostil. Tras observar cómo las fuerzas británicas e italianas utilizaban con éxito pequeñas motos, el ejército estadounidense se dio cuenta de que sus paracaidistas necesitaban un vehículo similar (Muvter, 2021).



Figura 3.
Cushman Model 53 Motor Scooter, 1944
Fuente: Imagen tomada del National Museum of the U. S. Air Force (s. f.).

Las décadas 1980,1990

Con la necesidad y el interés por las fuentes de energía alternativas surgen las primeras patinetas eléctricas que empiezan a aparecer en esta década, aunque muy limitadas por su baja velocidad y poca autonomía de la batería. Estos modelos eran más una novedad que una solución práctica, pero sentaron las bases para futuros avances.

En 1985, Steve Patmont patentó su patineta eléctrica motorizada, el Go-ped, y así comenzó una revolución (Chris, 2026).



Figura 4.
Go-Ped Sport electric scooter, 1985.
Fuente: Imagen tomada de Rider Guide (s. f.).

Los años 2000

Las baterías de litio desencadenan una revolución en las patinetas eléctricas. La década de 2010 supuso un punto de inflexión para las patinetas eléctricas. La introducción de las baterías de iones de litio permitió que se volvieran más ligeras, más rápidas y con mayor libertad. Estas baterías no solo mejoraron la autonomía general, sino que también redujeron los tiempos de recarga, lo que las convirtió en una opción viable para los desplazamientos urbanos.

La moderna patineta eléctrica plegable, que funciona con una batería de iones de litio, fue inventada en 2009 por el diseñador industrial italo-israelí Nimrod Riccardo Sapir.



Figura 5.
Nimrod Riccardo Sapir en el QUICK4 e-scooter.
Fuente: Imagen tomada de Avichail (2021).

El futuro

La necesidad imperiosa de una movilidad urbana dinámica, eficiente, sustentable y amigable con el medio ambiente garantizan que el *scooter* tenga un futuro prometedor y una larga vida. Debido a que este vehículo se adapta perfectamente a las necesidades urbanas de grandes ciudades, tamaño compacto, cero emisiones y rentabilidad en comparación con los vehículos tradicionales, el *scooter* se impone como la solución preferida para la conectividad de la última milla.

Con el rápido avance de la tecnología y la sostenibilidad cobrando protagonismo, las patinetas eléctricas están llamadas a convertirse en una parte aún más integral de la vida urbana en el futuro inmediato, y seguirán vigentes por pura necesidad.

Por ello, si decides utilizar un *scooter* como medio de transporte, hazlo siempre de manera responsable y segura. Aunque sea un vehículo pequeño y práctico, una caída o un accidente puede provocar lesiones graves; por eso, no olvides usar casco en cada recorrido.

La movilidad sostenible también implica cuidar tu vida: súbete al *scooter*, ponte el casco y disfruta el camino!



Figura 6.
Hilo One: The safe e-scooter of the future.
Fuente: Imagen tomada de University of Warwick Science Park (2023).

Referencias

- Avichail, Israel (2021, 8 de abril). Nimrod Riccardo Sapir designs the QUICK4 e-scooter. *Global Design News*. <https://globaldesignnews.com/nimrod-riccardo-sapir-designs-the-quick4-e-scooter/>
- Chris (2026, 15 de marzo). How e-scooters are reducing traffic congestion in major cities. *Mini Motors*. <https://minimotors.sg/how-e-scooters-are-reducing-traffic-congestion-in-major-cities/>
- Lambretta Ltd. (s. f.). History. *Lambretta Scooters*. <https://lambrettascooters.com/history/>
- Muvter (2021, 4 de julio). Historia y evolución del scooter. *Muvter*. <https://muvter.cl/blogs/muvter/historia-y-evolucion-del-scooter>
- National Museum of the U. S. Air Force (s. f.). Cushman airborne scooter. <https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/196149/cushman-airborne-scooter/>
- Rider Guide (s. f.). The first electric scooters. *Rider Guide*. <https://riderguide.com/blog/the-first-electric-scooters/>
- Smithsonian Institution (s. f.). Draisine, ca. 1818. <https://www.si.edu/collections/snapshot/draisine>
- Smithsonian National Museum of American History (s. f.). Autoped motor scooter, 1918. <https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/196149/cushman-airborne-scooter/>
- The Online Bicycle Museum (s. f.). 1918 Eveready Autoped Scooter. <https://onlinebicyclemuseum.co.uk/1918-eveready-autoped-scooter/>
- TomTom (s. f.). About: TomTom Traffic Index. <https://www.tomtom.com/traffic-index/about/>
- University of Warwick Science Park (2023, 27 de septiembre). Hilo One—the safe e-scooter of the future. University of Warwick Science Park. <https://www.warwicksciencepark.co.uk/hilo-one-the-safe-e-scooter-of-the-future/>



CON SANGRE, SUDOR Y LÁGRIMAS

INGRID SOFÍA RINCÓN VON PASTOR
Ingeniería Mecatrónica, 9.º semestre

Hace más de 80 años, Winston Churchill usó la frase “Con sangre, esfuerzo, sudor y lágrimas” para describir el sacrificio que sería necesario durante la Segunda Guerra Mundial. Con el tiempo, la palabra “esfuerzo” desapareció de la expresión popular, pero hoy en día los investigadores nos traen de vuelta esta palabra con una tecnología que literalmente funciona con sangre, sudor y lágrimas (además de otros fluidos corporales) con un objetivo muy diferente: mejorar la calidad de vida de las personas.

Esta tecnología son las celdas de combustible bioquímicas (Biofuel Cells o BFC, por sus siglas en inglés). Se trata de dispositivos electroquímicos capaces de transformar la energía química de compuestos orgánicos, como la glucosa, en electricidad mediante reacciones catalizadas por enzimas o microorganismos. Dependiendo del catalizador de la reacción, estas celdas se pueden clasificar en dos grandes grupos: enzimáticas y microbianas (Ferrari *et al.*, 2022; Kižys *et al.*, 2023).

Aunque existen diferencias entre los distintos tipos de BFC, todas comparten el mismo principio de funcionamiento. Al igual que una batería convencional, tienen un polo negativo (ánodo), en el que ocurre una reacción de oxidación, y un polo positivo (cátodo), donde se lleva a cabo una reacción de reducción. En la oxidación, ya sea por la acción de enzimas o bacterias, se liberan electrones (Jiao *et al.*, 2024). Estos viajan por un circuito externo hasta llegar al cátodo, produciendo así una corriente eléctrica y generando energía. Para poder llevar a cabo estas reacciones es necesario tener un electrolito, pero en vez de utilizar soluciones químicas inorgánicas como

las baterías alcalinas o las de plomo, estas celdas utilizan fluidos corporales, como sangre, sudor, lágrimas, saliva e incluso la orina. Es importante añadir que estas celdas no son lo mismo que una batería; no pueden almacenar energía, solo generarla (Ferrari *et al.*, 2022; Kižys *et al.*, 2023).

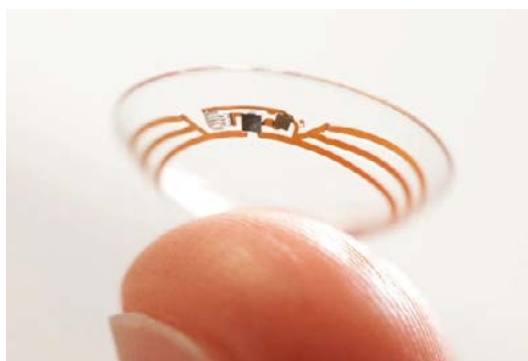


Figura 1. Propuesta de lentes de contacto inteligentes de Google que utilizan tecnología de BFC.
Fuente: Otis (2016).

Dependiendo de qué lleva a cabo las reacciones químicas, se pueden obtener resultados muy diferentes. Las celdas enzimáticas, como se puede asumir, utilizan enzimas aisladas como catalizadores. Gracias a su alta especificidad, estas celdas tienden a responder rápidamente y alcanzan mayores densidades de potencia. Solo que también tienen una de las mayores limitaciones: una muy corta vida útil. Como las enzimas se desnaturalizan, pierden actividad y dejan de realizar las reacciones de la misma forma en muy poco tiempo (Minteer *et al.*, 2007). Por otro lado, las celdas microbianas emplean bacterias para metabolizar los compuestos orgánicos. Utilizan procesos, como la respiración celular, para transferir electrones a la membrana o superficie del ánodo, donde se aprovechan para generar



electricidad. Aunque tienden a producir una menor potencia que las celdas enzimáticas, ofrecen una mayor estabilidad a largo plazo, tienen una vida útil más larga, e incluso se ha probado conectar varias de estas en serie para incrementar el voltaje y la corriente generados (Aiyer, 2020; Ferrari *et al.*, 2022).

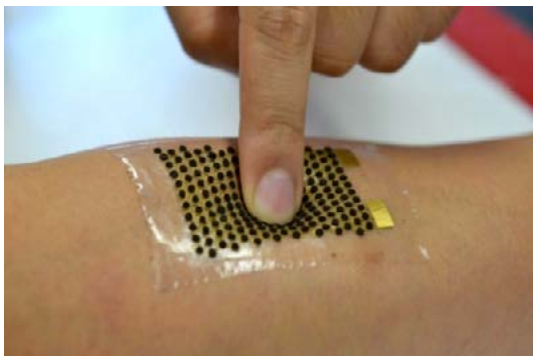


Figura 2. BFC wearable a base de sudor desarrollada en la UCS.

Fuente: Keane (2017).

Las aplicaciones más prometedoras de estas celdas bioquímicas se encuentran en el ámbito médico, donde pueden aprovechar sustancias que el propio cuerpo ya produce para alimentar pequeños dispositivos electrónicos. Uno de los proyectos más conocidos fue desarrollado por Johnson & Johnson en colaboración con Google. En este intentaron crear lentes de contacto inteligentes capaces de medir la glucosa presente en las lágrimas y así ayudar a pacientes con diabetes a llevar el registro de su glucosa sanguínea (Otis, 2016). Aunque el proyecto fue cancelado en 2018 debido a la dificultad de relacionar la glucosa lagrimal con la glucosa en la sangre, investigaciones similares continúan desarrollándose en la Universidad Tecnológica de Nanyang, en Singapur (NTU, 2024). La idea de aprovechar la glucosa corporal también está siendo explorada por empresas como Dexcom y Abbott, que desarrollan sensores subcutáneos capaces de obtener la energía necesaria para su funcionamiento directamente del organismo, reduciendo la dependencia de baterías convencionales (Rayan *et al.*, 2026).

Estas celdas tienen también un enorme potencial en dispositivos implantables. Investigadores de la Universidad Grenoble Alpes lograron implantar bioceldas en el cerebro de un grupo de ratas, donde alimentaron pequeños dispositivos electrónicos durante varios meses, demostrando que esta tecnología puede mantenerse operando durante largos periodos dentro de un organismo vivo (Cinquin *et al.*, 2010). Otra área de gran interés son los dispositivos portátiles o *wearables*. En México, investigadores del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEC) desarrollaron parches adhesivos capaces de generar electricidad a partir del sudor de la espalda para monitorear glucosa y electrolitos en deportistas (Melchor, 2024). Y, de forma similar, investigadores de la Universidad de California, San Diego, lograron producir electricidad utilizando el lactato presente en el sudor humano (Halford, 2013).

Como se mencionó en los párrafos anteriores, estos no son los únicos fluidos útiles. La orina y la saliva también han demostrado ser excelentes fuentes de energía para este tipo de dispositivos. El Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España (CSIC) desarrolló celdas de papel desechables activadas con orina, pensadas para alimentar dispositivos de un solo uso, como pruebas de embarazo o para la detección de enfermedades como VIH, ébola y hepatitis C, en comunidades donde el acceso a la energía y las celdas no son posibles (IMB-CNM-CSIC, 2021).



Figura 3. Celda desarrollada en el CSIC. Fuente: IMB-CNM-CSIC (2021).



Por su parte, investigadores de la Universidad de Binghamton, Nueva York, diseñaron una biobatería activada por saliva capaz de producir electricidad pocos minutos después de añadir una sola gota. Además de conservarse durante cuatro meses sin degradarse, un arreglo de apenas dieciséis celdas, del tamaño aproximado de una hoja de papel, logró alimentar un LED durante veinte minutos continuos (Brhel, 2017).

A pesar de estos avances, las bioceldas de combustible todavía enfrentan importantes desafíos antes de llegar a un uso masivo. Su principal limitación es la baja densidad energética en comparación con tecnologías como las baterías de litio, limitando su uso a dispositivos de bajo consumo. Además, la potencia que generan continúa siendo reducida, normalmente del orden de micro o miliwatts, insuficiente para alimentar equipos que demandan grandes cantidades de energía. Finalmente, el uso de dispositivos que interactúan directamente con el cuerpo humano también plantea retos regulatorios y clínicos que deberán resolverse antes de su implementación generalizada (Ferrari *et al.*, 2022; Moehlenbrock y Minteer, 2008).

Sin embargo, estas limitaciones no significan que la tecnología haya fracasado. En la ingeniería, no todas las innovaciones buscan reemplazar por completo a las tecnologías existentes; algunas encuentran su valor al resolver problemas específicos donde las soluciones tradicionales no son suficientes. En el caso de las bioceldas de combustible, su importancia no está en competir contra las baterías de litio para alimentar teléfonos o vehículos eléctricos, sino en abrir la posibilidad de crear dispositivos pequeños, autónomos y capaces de integrarse directamente con los organismos vivos.

La historia demuestra que muchas de las tecnologías que hoy consideramos normales comenzaron siendo poco prácticas, costosas o

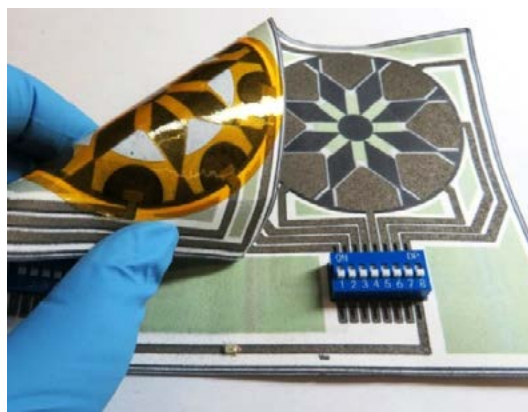


Figura 4. Celda de biocombustible a base de saliva.
Fuente: Brhel (2017).

incluso imposibles de fabricar a gran escala. Tal vez dentro de algunos años resulte completamente normal que un sensor médico, un parche inteligente o una prueba de diagnóstico obtengan la energía necesaria del mismo cuerpo que deben monitorear. Si ese futuro llega, será gracias a décadas de investigación y al esfuerzo de miles de científicos que han trabajado, tanto literal como metafóricamente, con sangre, sudor y lágrimas en su desarrollo.

Referencias

- Aiyer, K. S. (2020). How does electron transfer occur in microbial fuel cells? *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36(2), 19. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-020-2801-z>
- Brhel, J. (2017, 8 de agosto). New battery is activated by your spit. *BingUNews*. <https://www.binghamton.edu/news/story/709/new-battery-is-activated-by-your-spit>
- Cinquin, P., Gondran, C., Giroud, F., Mazabrard, S., Pellissier, A., Boucher, F., Alcaraz, J., Gorgy, K., Lenouvel, F., Mathé, S., Porcu, P., y Cosnier, S. (2010). A Glucose BioFuel Cell Implanted in Rats. *PLoS ONE*, 5(5), e10476. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0010476>
- Ferrari, I. V., Pasquini, L., Narducci, R., Sgreccia, E., Di Vona, M. L., y Knauth, P. (2022). A Short Overview of Biological Fuel Cells. *Membranes*, 12(4), 427. <https://www.mdpi.com/2077-0375/12/4/427>
- Halford, B. (2013, 10 de junio). Sweat power. *Chemical & Engineering News*. <https://cen.acs.org/articles/91/i23/Sweat-Power.html>
- Instituto de Microelectrónica de Barcelona [IMB-CNM-CSIC]. (2021, 21 de julio). "Hemos desarrollado



- baterías sostenibles de papel que se alimentan con líquidos como el sudor o la orina". *IMB-CNM. Noticias y Divulgación*. <https://www.imb-cnm.csic.es/es/noticias-divulgacion/noticias/hemos-desarrollado-baterias-sostenibles-de-papel-que-se-alimentan-con>
- Jiao, W., Ma, R., y Gao, Y. (2024). Research advances in electrochemical human motion energy harvesting technologies. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 967, p. 118474. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1572665724004521>
- Keane, K. (2017, 23 de agosto). Sweat-powered biofuel cells illuminate LEDs. *Architect Magazine*. https://www.architectmagazine.com/technology/sweat-powered-biofuel-cells-illuminate-leds_o/
- Kišys, K., Zinovičius, A., Jakštys, B., Bružaitė, I., Balčiūnas, E., Petrulėvičienė, M., Ramanavičius, A., y Morkvėnaitė-Vilkončienė, I. (2023). Microbial Biofuel Cells: Fundamental Principles, Development and Recent Obstacles. *Biosensors*, 13(2), 221. <https://www.mdpi.com/2079-6374/13/2/221>
- Melchor, D. (2024, 9 de diciembre). CIDETEQ Microfluidics Lab Generates Electricity from Sweat. *TecScience*. <https://tecscience.tec.mx/en/biotechnology/cideteq-electricity-sweat/>
- Minteer, S. D., Liaw, B. Y., y Cooney, M. J. (2007). Enzyme-based biofuel cells. *Current Opinion in Biotechnology*, 18(3), 228–234. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958166907000389>
- Moehlenbrock, M. J., y Minteer, S. D. (2008). Extended lifetime biofuel cells. *Chemical Society Reviews*, 37(6), 1188–1196. <https://doi.org/10.1039/b708013c>
- Nanyang Technological University [NTU] (2024, 8 de julio). NTU Singapore scientists develop “band-aid” that measures glucose levels in sweat using microlaser technology. *Bioengineer News*. https://www3.ntu.edu.sg/CorpComms2/Documents/2024/07_Jul/Bioengineer_240708_smartplaster.pdf
- Otis, B. (2016, 16 de agosto). Introducing our smart contact lens project. *Google*. <https://blog.google/alphabet/introducing-our-smart-contact-lens/>
- Rayan, M. N., Reddy, N., Verma, N., y Dungan, K. (2026, 12 de abril). Monitoring technologies: Continuous glucose monitoring, mobile technology, biomarkers of glycemic control. En K. R. Feingold *et al.* (Eds.), *Endotext*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279046/>



LA SIMPLICIDAD EN LA CIENCIA: DE NEWTON A SPACEX

FRANCISCO JAVIER TREJO GARCÍA

Doctor en Ingeniería Industrial

Universidad Anáhuac México. Facultad de Ingeniería

francisco_trejo@anahuac.mx

*“Es sencillo hacer que las cosas sean complicadas,
pero difícil hacer que sean sencillas.”
Friedrich Nietzsche*

¿Por qué las ideas simples pueden producir resultados extraordinarios?

En la cultura actual existe la percepción de asociar el progreso científico con sistemas cada vez más complejos y algoritmos más sofisticados, asimismo se tiene la percepción de que el análisis de grandes cantidades de datos genera automáticamente mejores decisiones. En muchos sentidos, esta percepción es correcta: la ciencia moderna opera sobre fenómenos que requieren modelos matemáticos avanzados, instrumentos más precisos y sistemas altamente especializados. Sin embargo, existe una paradoja fundamental en la historia de la ciencia: los mayores avances no siempre han surgido de teorías complejas, sino por el contrario de marcos conceptuales más simples. Los avances científicos, en muchos casos, no consisten en acumular explicaciones, sino en reducir la complejidad aparente del mundo a unos pocos principios prácticos y accesibles.

Esta idea puede observarse con claridad si recordamos la física clásica de Isaac Newton, y hacemos una analogía con ejemplos contemporáneos de ingeniería avanzada, como el sistema de acoplamiento automático de la cápsula Dragon de SpaceX con la Estación Espacial Internacional (ISS) (Matthews *et al.*, 2020). Aunque a primera vista se trata de contextos muy distintos —uno filosófico-matemático del siglo XVII y otro tecnológico-

aeroespacial del siglo XXI—, ambos comparten una misma enseñanza: *un sistema no debe ser más complejo de lo estrictamente necesario y su funcionamiento debe explicarse de la manera más simple posible.*

La simplicidad no es superficialidad: es complejidad bien resuelta

A menudo se confunde lo simple con lo superficial. Sin embargo, en ciencia, la simplicidad representa una profunda reflexión y análisis; es el resultado de un trabajo intelectual capaz de distinguir lo esencial de lo innecesario. Newton comprendió esto de manera extraordinaria. Su famoso rechazo a “fingir hipótesis” (*hypotheses non fingo*) no debe entenderse como una renuncia a pensar, sino como un acto de disciplina metodológica: no añadir entidades o mecanismos cuando los fenómenos pueden ser explicados mediante relaciones matemáticas suficientemente sólidas, pero a la vez simples (Guicciardini, 2009). Esto, en un mundo cada vez más complejo, que requiere de la toma de decisiones más rápidas y efectivas, es mucho más valioso.

Lo *simplista* elimina matices de manera arbitraria; lo *simple*, en cambio, surge después de comprender la estructura de un problema a un nivel muy profundo. En los *Principia*, Isaac Newton buscó encontrar el menor número de principios capaces de dar cuenta del mayor número de fenómenos posible. Esa aspiración



sigue siendo una de las bases de la buena ciencia y de la buena ingeniería.

Del determinismo clásico al caos: cuando la simplicidad genera imprevisibilidad

Por otro lado, la teoría del caos mostró que el determinismo no implica necesariamente predictibilidad perfecta. Sistemas descritos por ecuaciones relativamente sencillas pueden presentar una dependencia sensible a las condiciones iniciales, fenómeno popularizado por Edward Lorenz como el “efecto mariposa”.

En términos matemáticos, esto significa que, a partir de diferencias extremadamente pequeñas en las condiciones iniciales, los efectos resultantes pueden crecer exponencialmente con el tiempo y producir resultados completamente distintos, como lo explica la ecuación $\delta(t) \approx \delta_0 e^{\lambda t}$, propuesta por Edward Lorenz (Strogatz, 2024).

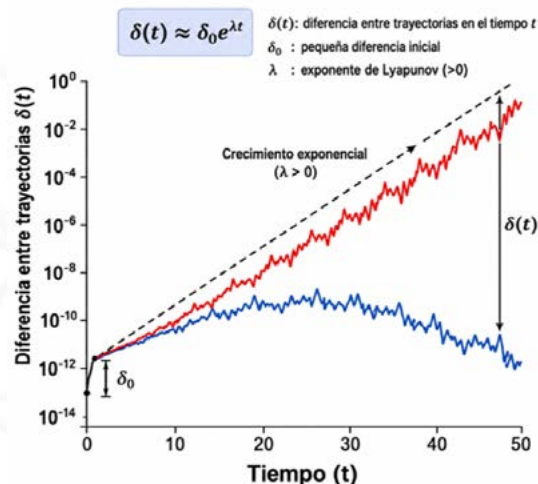
Te doy un ejemplo, imagina dos barcos saliendo de un puerto con una diferencia inicial de apenas 50 metros en su posición. Si ambos navegaran en un océano perfectamente en calma, seguirán casi uno al lado del otro. Pero si el océano representa un sistema caótico, esa diferencia de 50 metros puede transformarse con el tiempo en cientos de metros de separación y dirección.

En esta relación, una pequeña incertidumbre inicial δ_0 puede amplificarse rápidamente cuando en la ecuación de Lorenz, el exponente de Lyapunov λ es positivo, haciendo que el sistema se vuelva impredecible a largo plazo.

Esto también se manifiesta cuando los modelos predictivos son forzados excesivamente en ajustarse y, al hacer uso de datos históricos, pues estos pueden perder su capacidad predictiva a través del tiempo e insertar patrones falsos o sobreestimar la influencia de valores extremos (*outliers*).

Efecto mariposa: pequeñas diferencias, grandes consecuencias

En sistemas caóticos, diferencias extremadamente pequeñas en las condiciones iniciales crecen exponencialmente con el tiempo.



Representación artística de un atractor caótico asociado a sistemas dinámicos no lineales.

Fuente: Imagen generada mediante inteligencia artificial.

Aunque las ecuaciones que describen el comportamiento de un sistema sean conocidas, nunca es realmente posible medir las condiciones iniciales con precisión perfecta. Toda medición física contiene inevitablemente errores, ruido instrumental o incertidumbre observacional inducida por el usuario. Debido a ello, incluso en sistemas completamente deterministas, la capacidad predictiva tiene horizontes limitados (Prigogine & Stengers, 2018). El caos mostró así que la predicción absoluta es físicamente imposible en numerosos sistemas dinámicos complejos.



Representación artística de un efecto caótico asociado a sistemas dinámicos no lineales.

Fuente: Fotocommunity (s. f.).



Conjuntos de pronósticos y límites predictivos

Precisamente, ante esta sensibilidad extrema, disciplinas como la meteorología, la economía, la logística o la cadena de suministros (Trejo y Torres-Escobar, 2026) o incluso la dinámica orbital utilizan conjuntos o rangos de pronósticos (*ensemble forecasting*). En lugar de generar una sola predicción, se ejecutan múltiples simulaciones con pequeñas variaciones en las condiciones iniciales para explorar distintos futuros posibles (Palmer, 2022). El objetivo no es eliminar la incertidumbre sino cuantificarla y comprender cómo evoluciona el rango de escenarios posibles, y con ello preparar el sistema o al usuario de este ante estos escenarios para ser capaz de tomar la mejor decisión, en el menor tiempo y con la mayor precisión posible.

Esta conclusión tiene implicaciones filosóficas profundas. El caos no solamente limita lo que podemos saber del futuro; también pone límites a lo que podemos reconstruir con exactitud del pasado. Cuando los sistemas son altamente sensibles y las mediciones imperfectas, pequeñas incertidumbres históricas pueden impedir la reconstrucción precisa de los comportamientos anteriores. Así, la teoría del caos introdujo una visión más modesta del conocimiento científico: la ciencia puede descubrir leyes poderosas y estructuras profundas, pero existen fronteras inherentes a la predicción y a la reconstrucción exacta de la realidad dinámica (Hayles, 1990).

Asimismo, la teoría del caos también reveló otro hecho fundamental: existe un punto temporal a partir del cual los pronósticos dejan de ser significativamente mejores que una simple suposición estadística. Lorenz mostró que, más allá de ciertos horizontes temporales, la amplificación de errores iniciales destruye la utilidad práctica de la predicción detallada. Por ello, en muchos sistemas caóticos, la incertidumbre crece hasta el punto en que el comportamiento futuro solo puede describirse probabilísticamente.

Así, la teoría de los sistemas grises (Deng, 1982), la lógica difusa (Zadeh, 1965), los conjuntos aproximados (Pawlak, 1982) y las cade-

nas de Markov (Norris, 1997) son algunas de las corrientes matemáticas que han sido utilizadas para responder a esta incertidumbre.

Las buenas predicciones surgen de: aceptar la incertidumbre, actualizar las creencias y conocimientos constantemente, trabajar con probabilidades o rangos de estimaciones y distinguir la información que es relevante del ruido estadístico o aleatorio, de tal manera que puede ser más útil y efectivo para la toma de decisiones.

¿Cómo podemos entonces lidiar con la incertidumbre, desarrollar sistemas confiables y hacer nuevos descubrimientos?

Una alternativa es considerar que la sensación de simplicidad no se traduzca en que un sistema se convierta en trivial, sino que la complejidad sea absorbida, organizada o eliminada por el diseño.

Aquí aparece una conexión profunda entre Newton, la teoría del caos y la ingeniería moderna: la excelencia científica y tecnológica consiste en hacer que lo complejo funcione con simplicidad operativa, reconociendo que algunos sistemas poseen límites inherentes de predictibilidad. En otras palabras, la verdadera sofisticación no se exhibe como una dificultad visible, sino como simplificación, estabilidad y confiabilidad. *Un sistema realmente avanzado no es aquel que exige un alto nivel de sofisticación para operar, sino aquel que vuelve algo complicado en repetible y confiable.*

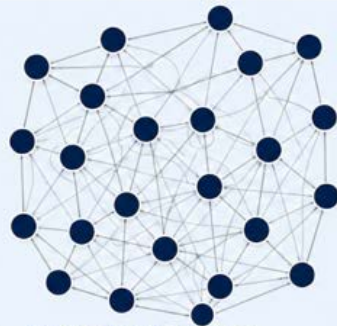
Esta idea tiene implicaciones profundas en la ciencia y la ingeniería. En múltiples áreas de la administración, logística, ciencia de datos o diseño organizacional, con frecuencia se asume erróneamente que una solución más sofisticada es automáticamente más efectiva. Sin embargo, la historia de la ciencia sugiere lo contrario: muchas veces la solución superior es la que elimina pasos innecesarios y permite explicar o ejecutar con mayor precisión con menos estructura presente.

Considera el siguiente ejemplo: existe un sistema compuesto por cuatro mecanismos que



ENFOCAR Y SIMPLIFICAR PARA REDUCIR Y GESTIONAR LA COMPLEJIDAD

COMPLEJIDAD



- Segmentos de clientes
- Regiones geográficas
- Mercados
- Productos
- Servicios
- Precios
- Procesos
- Proyectos
- Funciones
- Alianzas
- Infraestructura

ENFOCAR Y SIMPLIFICAR

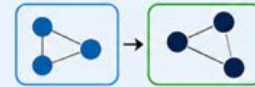
1. ELIMINAR

Eliminar elementos, conexiones o procesos innecesarios.



2. SEGMENTAR

Dividir sistemas complejos en partes manejables.



3. MODULARIZAR

Organizar componentes independientes y reutilizables.



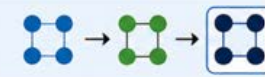
4. ESTANDARIZAR

Reducir variabilidad mediante estructuras comunes.



5. COMBINAR

Integrar funciones o componentes redundantes.



6. REORGANIZAR

Modificar la estructura para mejorar eficiencia y claridad.



7. AUTOMATIZAR

Utilizar sistemas automáticos para reducir complejidad operativa.



Estrategias para reducir y gestionar la complejidad. Fuente: S. A. (s. f.). Adaptado de *Focus & Simplify to Reduce and Manage Complexity*.

interactúan en serie entre sí, cada uno con una confiabilidad individual del 99%. Este sistema en su conjunto, ¿qué confiabilidad total tendría? Piénsalo y realiza tus cálculos..., bueno, la confiabilidad de ese sistema sería de 0.99^4 , o aproximadamente 0.9606. Lo anterior puede resumirse matemáticamente como $\phi(x) = x_1 \cdot x_2 \cdots x_n = \prod_{i=1}^n x_i$, donde $\phi(x)$ es la función estructural del sistema o, simplemente, la estructura, de acuerdo con los principios clásicos de confiabilidad en sistemas en serie (Rausand y Høyland, 2004).

Ahora considera, ¿qué tendrías que hacer para que este sistema mejorara, digamos un 1%? Bueno, tendrías que mejorar por lo menos un 0.25% en cada mecanismo aproximadamente, $0.9925^4 = 0.9703$. Pero ¿de qué otra manera podrías mejorarlo? Una forma en que podrías mejorar la confiabilidad de ese sistema es que, en vez de tener 4 mecanismos, este posea solo 3. Si haces eso, el desempeño de tu sistema puede mejorar en ese mismo 1%,

$0.99^3 = 0.9703$. Aunque esta no es la única forma. ¿Cuál otra se te ocurre...?

En sistemas físicos, de ingeniería, lograr una mejora en la confiabilidad puede ser extremadamente costoso, tanto por el desarrollo de la tecnología, los materiales, las pruebas requeridas, la precisión y exactitud de sus elementos, etc. En muchas ocasiones, no es algo que las empresas o incluso la sociedad en su conjunto puedan hacer por limitaciones económicas, tecnológicas o temporales.

Por lo anterior, te propongo una alternativa: *busca en la medida de lo posible no resolver los problemas: elimínalos y, si no te es posible, redúcelos o, al menos, disminuye sus riesgos*. Este enfoque coincide con principios de diseño y reducción de complejidad funcional, donde eliminar componentes innecesarios puede incrementar la robustez global del sistema y elegir la alternativa que posea el menor contenido de información (Suh, 2001).



Conclusión

La lección que une a Newton, la teoría del caos y la ingeniería contemporánea es clara: la ciencia más poderosa no siempre es la más sofisticada, sino la que logra organizar lo complejo bajo principios simples, claros y robustos.

En los *Principia*, Newton mostró que unos pocos principios podían explicar una enorme diversidad de fenómenos naturales. La teoría del caos reveló posteriormente que incluso esas leyes simples podían generar comportamientos impredecibles debido a la sensibilidad a las condiciones iniciales. Finalmente, en tecnologías como Dragon X, vemos que sistemas muy complejos pueden diseñarse de modo que operen con una simplicidad funcional sorprendente. En todos los casos, la simplicidad no significa reducción ingenua, sino dominio intelectual y un análisis técnico de la complejidad. En muchos casos, esto requiere por supuesto con romper paradigmas científicos, y personales.

Por ello, quizá una de las mejores definiciones de progreso científico no sea “hacer teorías más complejas” o “construir sistemas más difíciles de desarrollar”, sino encontrar formas más simples de comprender, predecir y actuar sobre el mundo, aun reconociendo que existen límites inevitables a lo que puede conocerse con exactitud, que la realidad es rara vez determinista y que los datos nuevos deben al menos cuestionar nuestras creencias. Cuando eso ocurre, la ciencia no solo avanza: también se vuelve más útil y, en cierto sentido, más bella y elegante.

Algunas respuestas requieren paciencia y perseverancia.

Referencias

Deng, J. (1982). Control problems of grey systems. *Systems & Control Letters*, 1(5), 288-294. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016769118280025X?via%3Dihub>

Fotocommunity (s. f.). Starting a pool game stock photo. Obtenido de Fotocommunity (s. f.). Starting a pool game stock photo. Obtenido de <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=pJbq19uU&id=2C442282EE02C65FB42C4295499F74DC7279C4E0&thid=OIP.pJbq19uUQenEIDh>

KN58n3gHaFj&mediaurl=https%3A%2F%2Fimg.fotocommunity.com%2Fpool2-2a3672f5-d5ed-412c-b288-0c50521b6666.jpg%3Fwidth%3D1000&exp

Guicciardini, N. (2009). *Isaac Newton on Mathematical Certainty and Method*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press. <https://chooser.crossref.org/?doi=10.7551%2Fmitpress%2F9780262013178.001.0001>

Hayles, N. (1990). *Chaos Bound. Orderly disorder in contemporary literature and science*. Londres: Cornell University Press.

Matthews, J., Driscoll, C., Fouad, E., Welter, A., Jarmulowicz, M., e Ipnar, J. (2020). Design, Development, Testing, and Flight of the Crew Dragon Docking System. (N. J. Center, Ed.) *Proceedings of the 45th Aerospace Mechanisms Symposium*, 484-503. Recuperado el 27 de junio de 2026, de <https://esmat.eu/amspapers/pastpapers/pdfs/2020/matthews.pdf>

Norris, J. (1997). *Markov Chains*. Nueva York: Cambridge University Press.

Palmer, T. (2022). *The primacy of doubt from Quantum Physics to Climate Change. How the science of uncertainty can help us to understand our chaotic world*. Nueva York: Basic Books.

Pawlak, Z. (1982). Rough sets. *International Journal of Computer & Information Sciences*, 11(5), 341-356. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01001956>

Prigogine, I., y Stengers, I. (2018). *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature (Radical Thinkers)*. Nueva York: Verso Books.

Rausand, M., y Høyland, A. (2004). *System Reliability Theory. Models, Statistical Methods, and Applications*. Nueva Jersey: John Wiley.

S. A. (s. f.). Complexity Reduction: To Realize a Strategy, You First Need to Reduce Complexity. *Stratechi*. Recuperado el 27 de 06 de 2026, de <https://www.stratechi.com/complexity-reduction>

Strogatz, S. (2024). *Nonlinear Dynamics and Chaos*. Chapman and Hall/CRC. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=g9SNEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=Nonlinear+Dynamics+and+Chaos.+&ots=62rNCZ6lzd&sig=ljxhk63wf6a8mRfky5ZBSkg1pt4&redir_esc=y#v=onepage&q=Nonlinear%20Dynamics%20and%20Chaos.&f=false

Suh, N. (2001). *Axiomatic Design. Advances and Applications*. Nueva York-Oxford: Oxford University Press.

Trejo, F., y Torres-Escobar, R. (2026). Application of a grey model MCGM (1,1) for demand forecasting in a third-party logistics providers in maquila industry in Mexico. *Grey Systems: Theory and Application*, 16(2), 225-244. <https://www.emerald.com/gs/article-abstract/16/2/225/1331230/Application-of-a-grey-model-MCGM-1-1-for-demand>

Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S00199586590241X?via%3Dihub>



LA BIOTECNOLOGÍA DETRÁS DE LA NANOTECNOLOGÍA DERMATOLÓGICA

PALOMA SUÁREZ ACOSTA
Biotecnología, 7.º semestre

Un producto dermatológico puede parecer algo sencillo que usamos día con día, un líquido o una crema que ponemos en nuestra piel con la esperanza de obtener resultados prometedores. Sin embargo, en una sola gota de producto existe una tecnología compleja donde se cruzan la biotecnología, la nanotecnología y la ingeniería de materiales con el fin de proteger ingredientes extremadamente inestables para que realmente puedan hacer efecto.

Para esta primera edición “Del laboratorio a la industria”, conversamos con Rogelio Martínez Escareño, ingeniero en Biotecnología y CEO fundador de RÕGMA Biotechnologies, un laboratorio mexicano especializado en biotecnología y nanotecnología aplicada en dermocosmética (RÕGMA Biotechnologies, s. f.).



Figura 1. Rogelio Martínez Escareño.
Fuente: Fotografía cortesía de Rogelio Martínez Escareño (2026).

Durante la conversación, quedó muy claro que lo difícil no es descubrir un activo como el ácido hialurónico, el minoxidil o la vitamina C que sea efectivo, sino diseñar un sistema que funcione como transporte. Pero ¿por qué alguien como Rogelio necesita desarrollar tecnologías tan complejas para algo tan común como un suero o una crema?

La respuesta está en que existen dos grandes retos fisicoquímicos para la dermocosmética:

- La gran inestabilidad de muchos ingredientes activos y
- La gran capacidad de la piel para impedir el paso de sustancias del exterior (Michalak *et al.*, 2021).

El responsable de formar esta barrera contra el exterior es el estrato córneo, la capa más externa de la piel. Podemos entender su funcionamiento como que está formada de “ladrillos y cemento”. Los “ladrillos” son los corneocitos. Estas células le dan resistencia mecánica y protección a los tejidos de la piel debido a que tienen una estructura rica en queratina (Murphrey *et al.*, 2022).

El “cemento” es una matriz compuesta por lípidos como ceramidas, colesterol y ácidos grasos, que rodean a los ladrillos e impiden el paso de sustancias externas. Irónicamente, su increíble capacidad de protección la convierte en el desafío más grande para la biotecnología y la industria dermocosmética (Murphrey *et al.*, 2022).



Debido a eso, para la mayoría de las moléculas se vuelve muy difícil atravesar esta barrera y llegar a donde deben actuar, en especial para las moléculas de gran tamaño molecular o de propiedades incompatibles con la piel (Mojumdar *et al.*, 2016).

Es justamente ahí donde la biotecnología y la ingeniería hacen su aparición. Para atravesar la barrera se diseñaron sistemas de transporte y liberación, así como los liposomas, nanopartículas lipídicas sólidas (SLN) o portadores lipídicos nanoestructurados (NLC). Todos funcionan como pequeños vehículos que encapsulan el activo, lo protegen y lo transportan hasta el interior de la piel (Elmowafy y Al-Sanea, 2021; Müller *et al.*, 2000).

Los *liposomas* fueron los primeros sistemas de transporte, son vesículas formadas de una o dos capas de fosfolípidos que rodean a un compuesto acuoso. Son pequeñas bolas de grasa capaces de almacenar compuestos solubles en agua en su interior, así como solubles en grasa en su membrana. Sin embargo, son demasiado *sensibles* a cambios de temperatura o a la exposición de luz, así que, si no se controla rigurosamente cualquier cambio en el ambiente, se vuelven muy *ineficientes* (Nsairat *et al.*, 2022).

Buscando resolver la inestabilidad, surgieron las SLN, que a temperatura ambiente tienen una estructura más rígida y ordenada. Prometían ser la solución, pero los científicos se dieron cuenta de que, con el paso del tiempo, los lípidos tienden a *reorganizarse* formando estructuras cada vez más *compactas* hasta expulsar el ingrediente activo de lo que se suponía era su lugar seguro. A eso se le conoce como “expulsión del activo”, y puede disminuir la eficacia de un producto (Hublikar *et al.*, 2025).

Debido a todas estas limitaciones, Rogelio Martínez y el equipo de RÖGMA están innovando en nuevos sistemas de liberación, los NLC. Utilizan lípidos sólidos e implementan también lípidos líquidos formando una *estructura amorfa*, haciéndola más flexible y evitando que se compacte. Esto permite que los activos queden encapsulados por más tiempo, que resisten más al ambiente y que se liberen de manera más controlada. Aquí fue donde partieron los años de pruebas en el laboratorio de RÖGMA Biotechnologies.

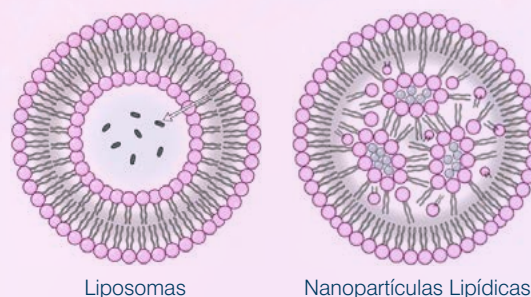


Figura 2. Estructura comparativa de liposomas y nanopartículas lipídicas.
Fuente: Fotografía cortesía de Rogelio Martínez Escareño (2026).

En teoría habían resuelto la inestabilidad, pero eso no significaba que pudiera hacerse en la práctica. Las primeras pruebas fracasaron. En el laboratorio, se dieron cuenta de que era necesario optimizar el tamaño de las nanopartículas hasta que alcanzaron los 50 y 150 *nanómetros*, tamaño que facilita su paso por el estrato córneo. Aquí, cada nanómetro puede cambiarlo todo... para ponerlo en perspectiva, un cabello humano tiene aproximadamente 60 mil nanómetros de espesor. Las nanopartículas de RÖGMA son entre 400 y 1,200 veces más pequeñas (Instituto Nacional del Cáncer, s. f.).

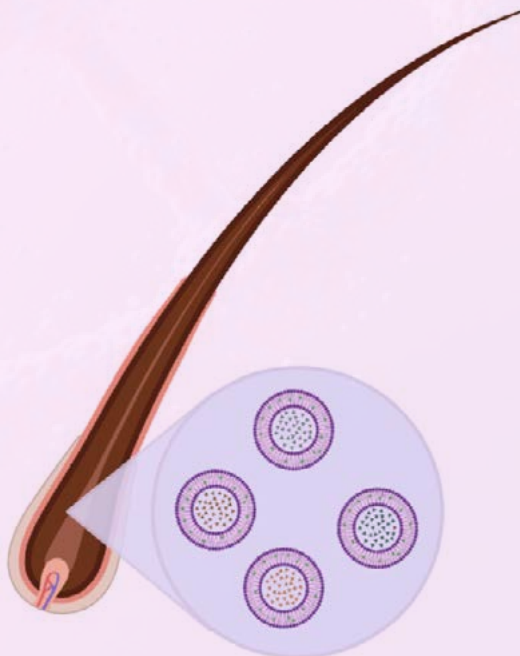


Figura 3. Comparación del tamaño de un cabello humano con las nanopartículas.

Fuente: Elaboración propia. Creada con <https://www.biorender.com/>

Mientras reducían los nanómetros, evaluaron diferentes formulaciones de ingredientes, pero Rogelio comenta que había días en los que la fórmula simplemente dejaba de funcionar, aun cuando no habían cambiado nada en ella. Combinaron lípidos hasta obtener una matriz amorfa lo suficientemente estable para encapsular distintos ingredientes activos sin que estos escaparan. El mayor reto fue encontrar *compatibilidad* entre moléculas tan diferentes como el ácido hialurónico y los lípidos de la membrana, y que pudieran mantener estable a toda la nanoestructura.

Una vez que obtuvieron una buena formulación, llegó el momento de ponerla en acción. ¿Y qué mejor que probarla con uno de los ingredientes más difíciles de estabilizar? La *vitamina C*, que se oxida fácilmente y es muy sensible a cualquier estímulo. Evaluaron su formulación encapsulando la vitamina en el sistema y sometiénola a cambios de temperatura, almacenamiento y exposición a la luz prolongados, y, mediante cambios de color,

observar si se daba una oxidación. Igualmente se comparó el sistema con los ya existentes en el mercado.

Los resultados eran claros. Los sistemas tradicionales perdían protección en poco tiempo, por otro lado, la nanoestructura de RÔGMA mantuvo al activo encapsulado durante un periodo considerablemente mayor al resto, demostrando una mayor estabilidad fisicoquímica. Se dieron cuenta de que encontraron una solución que podía llegar a la industria. Este gran descubrimiento dio origen a la patente “Formulación de Lípidos Nanoestructurados y Complejo Único Estructurado de Ácidos Hialurónicos para la Liberación Prolongada de Agentes Activos de Uso Cosmético y Dermatológico” de RÔGMA Biotechnologies.



Figura 4. Laboratorio de RÔGMA Biotechnologies.

Fuente: Fotografía cortesía de Rogelio Martínez Escareño (2026).

Para describir una tecnología bastante compleja, Rogelio explicó su patente de una manera muy particular, imaginó una *cubeta llena de globos con agua*. La cubeta representa un producto que se vende en la industria, una crema o un suero. El agua que quedó en la cubeta corresponde a la solución en la que se encuentran suspendidos millones de nanopartículas. Cada globo simboliza una nanopartícula con membrana lipídica que actúa como una barrera protectora y el agua en su interior representa el ingrediente activo atrapado.



Mientras que los globos no sean manipulados, se mantendrán intactos hasta que llegue un estímulo. Las nanopartículas funcionan similarmente, se mantienen estables hasta entrar en contacto con la piel, por ejemplo, con un suero para la caída del cabello, al aplicarlo y generar fricción sobre el cuero cabelludo recibe el estímulo necesario para atravesar la piel, liberarse y funcionar adecuadamente.

Sin embargo, un nuevo reto apareció cuando abandonó el laboratorio, un reto que las industrias casi nunca mencionan. Escalar la formulación de un producto desde *pequeñas pruebas* hasta reactores que producen *cientos de litros*. Según explica el equipo, pequeñas variaciones en la pureza de los insumos eran lo suficientemente importantes como para modificar el comportamiento de la tecnología, lo que llevó a estandarizar proveedores, automatizar procesos con ingeniería y a establecer controles fisicoquímicos más rigurosos para garantizar que cada lote conservara las mismas propiedades y que funcionara correctamente.

Si bien RÖGMA hoy en día es una empresa que usa esta tecnología específicamente en productos dermocosméticos, tiene muchas aplicaciones a futuro, por ejemplo, con medicamentos quimioterapéuticos o en la administración de antibióticos. Teniendo como ventaja, mayor estabilidad, permeabilidad y una liberación precisa, disminuyendo efectos secundarios sistémicos. Así que cada vez que pongamos un producto en nuestra piel, recordemos que detrás de cada gota, hay años de pruebas, formulaciones fallidas y de decisiones de ingeniería. Historias como el caso de RÖGMA nos demuestran que una buena idea no cambia al mundo por sí sola. La innovación en la ciencia no depende de descubrir algo nuevo, sino de la capacidad de escalarlo. Es ahí en donde la biotecnología y la ingeniería se unen para llevar un trabajo de laboratorio a la industria y que finalmente pueda, de alguna forma, cambiar la vida de las personas.

Referencias

- Elmowafy, M., y Al-Sanea, M. M. (2021). Nanostructured lipid carriers (NLCs) as drug delivery platform: Advances in formulation and delivery strategies. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 29(9), 999–1012. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319016421001420?via%3Dihub>
- Hublikar, L. V., Ganachari, S. V., Kollur, S. P., Osman, N. A., Ramesh, S., y Gurubasavaraj, P. M. (2025). Thermodynamic insights into nanoscale stability: temperature and entropy in action. *Journal of Molecular Liquids*, 442, 129075. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732225022548?via%3Dihub>
- Instituto Nacional del Cáncer (s. f.). Nanómetro. *Diccionario de Cáncer del NCI*. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/nanometro>
- Michalak, M., Pierzak, M., Kręcis, B., y Suliga, E. (2021). Bioactive Compounds for Skin Health: A Review. *Nutrients*, 13(1), 203. <https://www.mdpi.com/2072-6643/13/1/203>
- Mojumdar, E., Gooris, G., Groen, D., Barlow, D., Lawrence, M., Demé, B., y Bouwstra, J. (2016). Stratum corneum lipid matrix: Location of acyl ceramide and cholesterol in the unit cell of the long periodicity phase. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1858(8), 1926–1934. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005273616301493?via%3Dihub>
- Müller, R. H., Mäder, K., y Gohla, S. (2000). Solid lipid nanoparticles (SLN) for controlled drug delivery - a review of the state of the art. *European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics. Official Journal of Arbeitsgemeinschaft für Pharmazeutische Verfahrenstechnik*, 50(1), 161–177. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0939641100000874?via%3Dihub>
- Murphrey, M. B., Miao, J. H., y Zito, P. M. (2022, 14 de noviembre). Histology, Stratum corneum. *StatPearls - NCBI Bookshelf*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513299/>
- Nsairat, H., Khater, D., Sayed, U., Odeh, F., Al Bawab, A., y Alshaer, W. (2022). Liposomes: structure, composition, types, and clinical applications. *Heliyon*, 8(5), e09394. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(22\)00682-X?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS240584402200682X%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(22)00682-X?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS240584402200682X%3Fshowall%3Dtrue)
- RÖGMA Biotechnologies (s. f.). Alta tecnología para tu piel, innovación constante, investigación ardua. <https://rogmabiotech.com/pages/about-us>



EL HÉROE QUE TODOS OCUPAMOS ALGUNA VEZ

ALDO LARA RODRÍGUEZ
Ingeniería Mecatrónica, 7.º semestre



Imagen 1.
Fuente: <https://www.todoandroid.es/wp-content/uploads/2025/05/Photomath-app-gratis-para-resolver-problemas-matematicos.png>

Hay que ser sinceros... ¿Quién no conoce Photomath? ¿A quién no le ha hecho el paro en una tarea o examen? Pero realmente te has puesto a analizar ¿cómo funciona esta pequeña aplicación mágica? El cómo escanea rápidamente un problema de álgebra o cálculo y además te explica paso a paso la resolución del problema. Por si alguien vive debajo de una roca, te presento Photomath, una plataforma interactiva que va mucho más allá de darte la respuesta final. Es una herramienta pedagógica que te enseña a razonar cada procedimiento algebraico, convirtiendo la frustración en aprendizaje real para afrontar las materias más pesadas de la carrera.

¿Qué es Photomath?

Photomath es un asistente digital y tutor dinámico accesible desde cualquier smartphone. Su función principal es analizar expresiones matemáticas mediante escaneo óptico y desglosar su solución en pasos lógicos y explicaciones conceptuales.

Aunque a primera vista parece una simple calculadora con cámara, para un estudiante de ciencias exactas representa un laboratorio al-

gebraico portátil. La aplicación abarca desde aritmética básica y trigonometría hasta cálculo multivariable, matrices y ecuaciones diferenciales. Además de resolver la operación, despliega gráficas interactivas en dos dimensiones, muestra diferentes métodos para llegar al mismo resultado y explica el “porqué” de cada propiedad aplicada. Esto permite verificar procedimientos de laboratorio o estudiar para exámenes teóricos con total seguridad.

Lo verdaderamente valioso de Photomath no es la velocidad con la que entrega un resultado, sino la claridad con la que expone el algoritmo de solución, convirtiéndose en el recurso ideal para estudiar de forma autodidacta.

El nacimiento del héroe

La historia de Photomath es el claro ejemplo de cómo la necesidad de un ingeniero genera soluciones globales. En 2014, Damir Sabol, un ingeniero experto en tecnología y visión por computadora, buscaba una forma eficiente de explicarle las tareas de matemáticas a sus hijos sin perder horas tratando de saber en qué paso se habían equivocado. Sabol notó que la parte más tardada no era resolver el problema,



sino encontrar la falla sintáctica o el error algebraico intermedio.

Presentada oficialmente en el evento TechCrunch Disrupt en San Francisco, la app se volvió viral rápidamente por la precisión de su motor OCR (Reconocimiento Óptico de Caracteres). Con el paso del tiempo e integrada al ecosistema tecnológico de Google, la plataforma evolucionó incorporando inteligencia artificial generativa, gráficos dinámicos y soluciones verificadas paso a paso de los libros de texto más consultados en las facultades de ingeniería. Hoy cuenta con cientos de millones de descargas a nivel mundial.

Funcionamiento

Usar la plataforma es un proceso sumamente intuitivo. Tras descargarla gratuitamente desde Google Play o la App Store y crear un perfil básico, la aplicación abre directamente la interfaz de la cámara con un recuadro de enfoque ajustable.

Solo debes encuadrar el problema —ya sea que esté impreso en un libro o escrito a mano en tu libreta— y presionar el botón de captura. En una fracción de segundo, el algoritmo de visión artificial procesa los símbolos, traduce la expresión a código matemático y la ejecuta en su motor algebraico. A partir de ahí, la pantalla te ofrece la respuesta principal con el botón clave: “Mostrar pasos de resolución”.

Al desplegar los pasos, la app te guía por el desarrollo: descompone fracciones complejas, aplica identidades trigonométricas, muestra las reglas de derivación o integración utilizadas y ofrece notas explicativas. Si el ejercicio lo requiere, genera automáticamente la representación gráfica de la función, señalando puntos críticos como raíces, intersecciones con los ejes, máximos y mínimos. Puedes guardar las ecuaciones más relevantes en tu historial o clasificarlas por temas para repasarlas antes de una evaluación importante.

Al final del día, herramientas como Photomath nos recuerdan que la ingeniería no se trata de memorizar fórmulas de memoria, sino de comprender la lógica que gobierna los sistemas. Usada con responsabilidad como una guía de verificación y aprendizaje, es el aliado perfecto para perderle el miedo a las matemáticas avanzadas y disfrutar el camino universitario.



Imagen 2.

Fuente: https://lh3.googleusercontent.com/WCCzXxg2_N-MCAexKqE-Oj6jck8g9a8ScU6vuO5LFpp8btWaQI9IG-2YxOHk8fkiH3rLDPeZ1NzWVNYINwJPTx-c_huDloAffYn=e365-pa-nu-w1800

Referencias

- Google Education / Photomath (s. f.). *Centro de recursos y funciones de aprendizaje de Photomath*. <https://photomath.com/articles/how-photomath-helps-with-more-than-just-homework/>
- Photomath Engineering (2022). Understanding the AI behind computer vision in mathematical OCR. *Photomath Tech Blog*. <https://photomath.com/articles/teacher-expectations-and-guidance-on-the-role-of-ai-and-learning-math/>
- TechCrunch (2015). How MicroBLINK turned a family problem into the Photomath phenomenon. *TechCrunch News*. <https://techcrunch.com/2018/11/06/photomath-raises-6-million-for-its-math-solving-app/>



EL ESTADO DEL ARTE DE LA COMPUTACIÓN CUÁNTICA Y EL IMPACTO EN LA ENCRIPCIÓN MODERNA

LUIS EDUARDO ORDOÑEZ IRINEO

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

IVÁN FUENTECILLA CÁRCAMO

Profesor de la Escuela de Ingeniería y Actuaría, Universidad Anáhuac, Campus Puebla

GERARDO BARRERA FLORES

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

JOSÉ ALEJANDRO HERNÁNDEZ LÓPEZ

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

LAURA ALEJANDRA TEPANECATL FUENTES

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

YESMIN PANECATL BERNAL

Centro Tecnológico Aragón, Facultad de Estudios Superiores Aragón,

Universidad Nacional Autónoma de México

Universidad Nacional s/n, Bosques de Aragón, Ciudad Nezahualcóyotl, C.P. 57171, México

Resumen

La seguridad de las comunicaciones digitales modernas depende de la dificultad computacional de factorizar grandes números enteros, principio sobre el que se sostienen algoritmos como RSA, TLS y ECC. La computación cuántica representa una amenaza directa a este paradigma: desde 1994, el algoritmo de Shor demostró teóricamente que una computadora cuántica con corrección de errores podría resolver dicho problema en tiempo polinomial, comprometiendo los esquemas de encriptación vigentes.

En este trabajo se describe el uso del algoritmo de Shor para la vulneración de los algoritmos de encriptación vigentes y su estado de implementación actual, incluyendo avances recientes que reducen los requerimientos de escala. Se analiza la arquitectura de trampa de iones como plataforma *hardware* prioritaria por sus bajas tasas de error.

Los resultados reportados indican que, si bien ningún sistema actual alcanza la escala necesaria para comprometer cifrados de 2048 bits, el avance en corrección de errores y el surgimiento de nuevos algoritmos como el JVG acortan significativamente ese horizonte, validando la premisa de vulnerabilidad de la encriptación clásica ante la computación cuántica.



Introducción

La seguridad de las comunicaciones digitales actuales se basa principalmente en la dificultad computacional de factorizar grandes números enteros en sus factores primos. Algoritmos ampliamente adoptados como el Transport Layer Security (TLS), Rivest-Shamir-Adleman (RSA) y la criptografía elíptica (ECC) son vulnerables en la medida que exista la suficiente capacidad de cómputo para convertirlo de un problema de tiempo no polinomial (NP) a polinomial (P); la aparición de la computación cuántica ha transformado esta perspectiva [1].

Desde la formulación del algoritmo de Shor en 1994, se sabe que una computadora cuántica con corrección de errores podría factorizar grandes números en tiempo polinomial, comprometiendo los esquemas de encriptación como el TLS, RSA y ECC, que están basados en dicha dificultad. No obstante, el estado actual del *hardware* cuántico todavía no alcanza la escala necesaria para comprometer cifrados de 2048 bits, pero la brecha se reduce año con año con mejoras como los métodos de corrección y el número de qubits [2].

Aquí se describe el uso del algoritmo de Shor para la vulneración de los algoritmos de encriptación actuales y se asume que, con corrección de errores operacionales, es técnicamente posible vulnerar los métodos de encriptación actuales [1].

Criptografía clásica y el problema de factorización

Los sistemas de claves públicas como el RSA cifran nuestra información mediante fórmulas que involucran el producto, n , de dos números primos, p y q ; y la descifran usando los valores de p y q . La factorización de n resulta computacionalmente imposible para nuestros ordenadores clásicos [3]. Sin embargo, a pesar de la robustez de los métodos actuales de encriptación y considerando la disponibilidad de la información, existe un problema conocido como *harvest now decrypt later*, basado en la recolección de la información, que, aunque sea imposible de descifrarla con ordenadores actuales, se almacena con la esperanza de que se alcance la potencia computacional cuántica necesaria para deciparla [4]. En pos de evitar que organizaciones que gestionan datos con larga vida útil de confidencialidad (véase registros médicos, contratos, direcciones, información bancaria o fiscal, entre otros), el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos (NIST, por sus siglas en inglés) publicó en 2024 los primeros estándares de criptografía post-cuántica: ML-KEM (FIPS 203) para establecimiento de claves, ML-DSA (FIPS 204) para firmas digitales y SLH-DSA (FIPS 205) como estándar de firma basado en funciones *hash* [4].

El algoritmo de Shor

En 1994 el matemático Peter Shor demostró que la factorización de enteros podía realizarse en tiempo polinomial mediante una computadora cuántica [2]. El algoritmo de Shor se apoya en la Transformada de Fourier Cuántica (QFT) para detectar la periodicidad de funciones modulares, lo que permite deducir los factores primos de un número compuesto de manera eficiente [1, 3]. La implementación del algoritmo de Shor en *hardware* real se ejecutó por primera vez en 2001 por IBM sobre una computadora de 7 qubits, logrando factorizar el número 15 en sus factores primos, 3 y 5 [5]. Sin embargo, factorizar números de relevancia criptográfica, del orden de 2048 bits, requiere miles de qubits lógicos tolerantes a fallos, una capacidad que ningún sistema actual posee [1, 3].

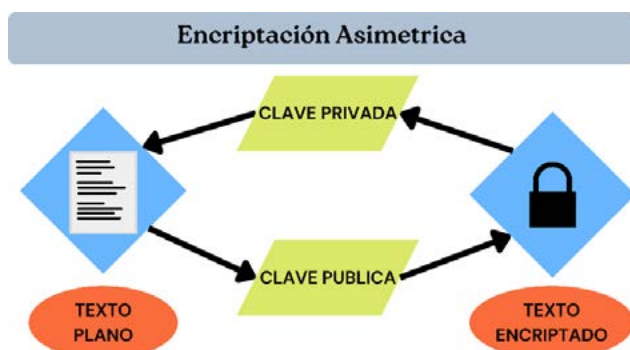


Figura. 1 El algoritmo de encriptación RSA funciona por medio de una encriptación asimétrica. Cualquiera con la clave pública, pero solo se puede descifrar el mensaje haciendo uso de la clave privada.

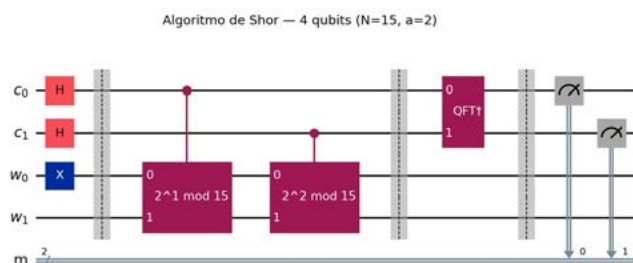


Figura. 2 El algoritmo de Shor hace uso de compuertas cuánticas (CC) para hacer operaciones sobre los qubits (C_0 , C_1), algunas de las CC que lo componen son la Hadamard (H), Pauli-X (X) y la QFT. Las CC actúan como matrices sobre los qubits representados como vectores.

Los requerimientos de escala son precisamente el principal problema que ralentiza los avances en computación cuántica. Investigaciones recientes estiman que para romper el algoritmo RSA-1024, algoritmo RSA de 1024 bits, necesitaría aproximadamente 2300 qubits lógicos; y para RSA-2048 se necesitaría alrededor de 1730 qubits, según un estudio de 2024 realizado por Chevignard *et al.* [6]. Esto si se combina el algoritmo de Shor con técnicas clásicas de tipo *hash trick*, técnica que convierte características arbitrarias, como texto o categorías, en un vector de tamaño fijo y disperso aplicando una *función hash*. En diciembre de 2025 el investigador Craig Gidney de Google Quantum AI mostró que podría reducirse aún más el umbral mediante el uso de aritmética residual aproximada y códigos de superficie de bajo costo, potencialmente factorizando el RSA-2048 en menos de una semana con un 1×10^6 de qubits físicos [7]. Más recientemente, en marzo de 2026, el Advanced Quantum Technologies Institute (AQTi) anunció el algoritmo JVG (Jesse-Victor-Gharabaghi), que reduciría los recursos necesarios en un factor de mil respecto al algoritmo de Shor, requiriendo potencialmente menos de 5×10^3 qubits para romper RSA y ECC [8]. Si estas proyecciones se confirman, el uso de computadoras cuánticas para decriptación clásica se acortaría significativamente.

Implementación en trampa de iones

Una de las arquitecturas más prometedoras para ejecutar el algoritmo de Shor a escala es

la trampa de iones; en estos dispositivos, los qubits se codifican en los estados electrónicos de iones individuales confinados por campos eléctricos y manipulados mediante pulsos de luz láser [9]. La arquitectura de trampa de iones fue la primera en demostrar una compuerta lógica cuántica física en 1995, y hasta la fecha sigue mostrando las menores tasas de error entre todas las arquitecturas de computación cuántica [9]. Un estudio experimental de Monz *et al.* (Universidad de Innsbruck) y Chuang *et al.* (MIT) demostró que cinco iones son suficientes para ejecutar el algoritmo de Shor de manera funcional, restringiendo la medición a un qubit de salida para evitar la corrupción de los cuatro qubits de cómputo [8]. Esta arquitectura es teóricamente escalable, mientras la trampa pueda mantener iones estables, el mismo principio es extensible a operaciones de mayor complejidad. En el plano de la corrección de errores, los sistemas de trampa de iones evalúan el impacto de tasas de error más bajas sobre los códigos de corrección cuántica, en contraste con los sistemas de qubits superconductores que priorizan el escalado en número [9]. En 2024, el equipo de Google Quantum AI [10], mediante su procesador Willow, ofrecieron evidencia de que la corrección de errores escala con el tamaño del código; los sistemas de trampa de iones se enfocan en demostrar que las tasas de error menores tienen impacto proporcional en la fiabilidad lógica [10].

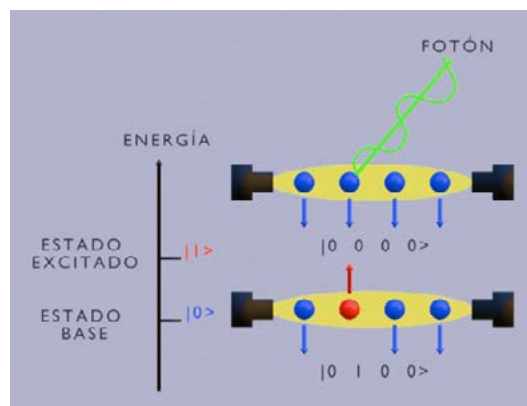


Figura. 3 Esquema de una trampa de iones. Las trampas de iones nos permiten confinar iones como 40Ca^+ , 88Sr^+ o 138Ba^+ por medio de campos electromagnéticos (amarillo) para ser excitados por medio de un láser (verde).

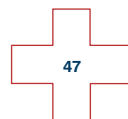


Conclusiones

El algoritmo de Shor representa la amenaza cuántica más directa a los sistemas de encriptación clásicos basados en la factorización de números primos. Su ejecución a escala, computacionalmente relevante, requiere *hardware* que aún no existe, pero cuyo avance en su desarrollo es constante. Las trampas de iones constituyen la implementación en *hardware* más relevante para el algoritmo de Shor debido a sus bajas tasas de error. Los avances recientes en corrección de errores cuánticos, tanto en sistemas superconductores como en iones atrapados, acercan la viabilidad de una computadora cuántica tolerante a fallos. La premisa de que una computadora cuántica con corrección de errores puede romper los algoritmos de encriptación actuales se mantiene válida a la luz de la literatura revisada, aunque el cuándo sigue siendo incierto.

Referencias

- [1] National Academies of Sciences, Quantum Computing's Implications for Cryptography. *Quantum Computing: Progress and Prospects*. Washington (DC): The National Academies Press; 2019, [citado 2026 mayo]. Disponible en: <https://www.nationalacademies.org/read/25196/chapter/6>
- [2] Shor PW. Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring. En *Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*, 1994 nov 20-22, Santa Fe, NM. Piscataway (NJ): IEEE.
- [3] Turner L. E.. Shor's Algorithm and RSA Encryption. *Quantum Algorithms Institute* [Internet]., 2024 [citado 2026 mayo]. Disponible en: <https://www.qai.ca/resource-library/shors-algorithm-and-rsa-encryptionnbs>
- [4] Auer A, Lin P, Ogundola J, Canadian Centre for Cyber Security, NIST. Breaking RSA: How Quantum Computing Threatens Today's Digital Security [Internet]. *ResearchGate*; 2025 jul [citado 2026 mayo]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/393519992>
- [5] Hempel C. Trapped-Ion Quantum Computers. En Jang-Jaccard J., Caroff P., Blezinger E., Mulder V., Mermoud A., y Lenders V. (eds.), *Quantum Technologies*, Cham: Springer; 2025. Capítulo 2; [citado 2026 mayo]. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-90727-2_2
- [6] Chevignard C, Fouque, P.A, Schrottenloher A. Reducing the number of qubits in quantum factoring [preprint]. arXiv:2405.xxxx; 2024.
- [7] Gidney C, y Eker M. How to factor 2048-bit RSA integers in 8 hours using 20 million noisy qubits [Internet]. *Quantum Physics*. 2025 dic [citado 2026 mayo]. Disponible en: <https://www.nationalacademies.org/read/25196/chapter/6>
- [8] Van Griensven, J. JVG. Quantum decryption algorithm announcement. Advanced Quantum Technologies Institute (AQTI) [Internet]; 2026 mar 2 [citado 2026 mayo]. Disponible en: https://www.honeywell.com/us/en/solutions/ot-cybersecurity/secure-media-exchange?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=CORP-26-Cyber-Search-SMX&utm_content=203865915088&utm_term=kwd-373510395986&s_kwid=AL!7892!3!816149619089!b!!g!!removable%20media%20security&gad_source=1&gad_
- [9] Chuang IL, Vandersypen LM, Zhou X, Leung DW, Lloyd R, Kubinec MG. Experimental realization of Shor's quantum factoring algorithm using nuclear magnetic resonance. *Nature*. 2001;414(6866):883-887. [Véase también para trampa de iones: *IEEE Spectrum*; 2023. Disponible en: <https://spectrum.ieee.org/encryptionbusting-quantum-computer-practices-factoring-in-scalable-fiveatom-experiment>
- [10] Google Quantum AI and Collaborators. Quantum error correction below the surface code threshold. *Nature*. 2025;638:920-926. Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41586-024-08449-y>

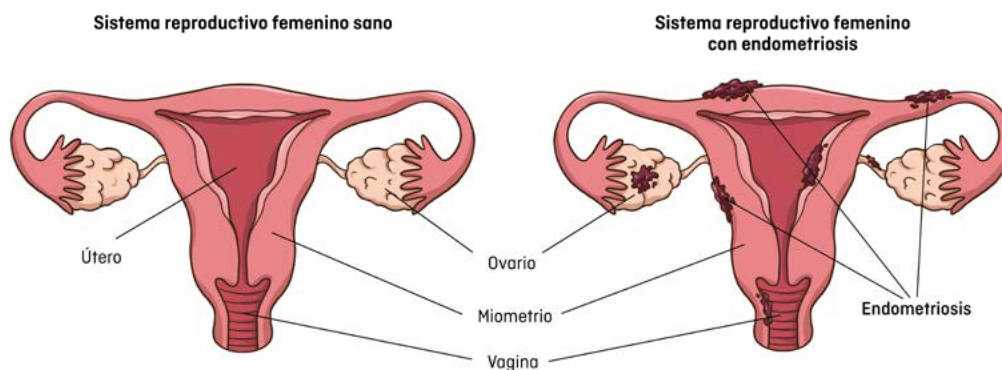




ENDOMETRIOSIS: LA LUCHA CONTRA EL SUFRIMIENTO FEMENINO

DIANA SÁNCHEZ VALENZUELA
Ingeniería Biomédica, 4.º semestre

Endometriosis



© Hospital Sant Joan de Déu Barcelona
Ilustraciones: Lucía Prellezo, Escuela de Solut

Figura 1. Comparación esquemática entre un sistema reproductor femenino sano y uno con endometriosis.
Fuente: Rodríguez Morante y Vila Minguell (2025).

En algún momento de nuestra vida, todos hemos sido testigos del dolor menstrual, ya sea en carne propia o a través de nuestras hermanas, parejas, hijas o madres. Desde pequeños aprendemos que el dolor alerta sobre algún padecimiento. Sin embargo, ante un cólico menstrual solemos tomar un analgésico sin preguntarnos si podría indicar algo más. ¿Por qué hemos aprendido a aceptar el dolor menstrual como una parte inevitable de ser mujer? Vivir con dolor intenso durante varios días, meses y durante décadas, no debe considerarse normal. Aun así, millones de personas con enfermedades ginecológicas han aceptado la creencia de que ese sufrimiento es “natural”. Esta normalización y el desconocimiento favorecen el infradiagnóstico y retrasan la atención médica. Entre estas condiciones está la endometriosis, que afecta aproximadamente a 190 millones de personas en el mundo (World Health Organization, 2025).

Una enfermedad subfinanciada

La investigación sobre endometriosis recibió solo el 0.038 % del presupuesto de los National Institutes of Health (NIH) en Estados Unidos. Este subfinanciamiento se relaciona con el sesgo histórico en la investigación sobre salud femenina y la normalización del dolor menstrual, lo que limita el diagnóstico y el desarrollo de mejores tratamientos (Zondervan *et al.*, 2020; Ellis *et al.*, 2022; Kirk *et al.*, 2024).

Según el *New England Journal of Medicine* (NEJM), la endometriosis ocurre cuando un tejido similar al endometrio —la capa interna del útero que responde a los cambios hormonales— se implanta y crece fuera de la cavidad uterina, por ejemplo, en los ovarios, el peritoneo o las trompas de Falopio (Zondervan *et al.*, 2020). Las principales consecuencias de esta enfermedad crónica incluyen inflamación, dolor pélvico intenso, infertilidad y una dismi-



nución significativa en la calidad de vida de quienes la padecen (World Health Organization, 2025). En términos sencillos, este tejido responde a las hormonas del ciclo menstrual fuera del útero, lo que puede causar inflamación, lesiones y cicatrices en los órganos donde se implanta (World Health Organization, 2025; Zondervan *et al.*, 2020)

Actualmente, la endometriosis no tiene cura. La terapia hormonal es un tratamiento de primera línea, pero solo controla los síntomas de forma temporal: no elimina las lesiones ni impide que reaparezcan al suspenderla (Zondervan *et al.*, 2020; Becker *et al.*, 2022). Estas limitaciones hacen urgente desarrollar alternativas terapéuticas y tecnológicas que mejoren la calidad de vida.



Figura 2. Joven experimentando cólicos menstruales.
Fuente: Imagen generada con IA proporcionada por el autor.

Dolor intenso

Pacientes describen el dolor de la endometriosis como una sensación punzante o similar a una cuchillada. En los casos más graves, este puede llegar a ser incapacitante, impidiendo realizar actividades cotidianas como levantarse de la cama, asistir a la escuela o acudir al trabajo (World Health Organization, 2025; Della Corte *et al.*, 2020).

Con la finalidad de conocer propuestas que busquen nuevas respuestas, entrevisté a Luz Elena

Sánchez, maestra en Ingeniería Biomédica e investigadora principal de un proyecto desarrollado en la Universidad de Texas en El Paso.

La ingeniera desarrolla un dispositivo reutilizable basado en polímeros de impresión molecular (MIP) para monitorear con alta frecuencia el cortisol en personas con endometriosis. El proyecto se titula A Reusable MIP-Based Platform for High-Frequency Cortisol Monitoring in Endometriosis (Becker *et al.*, 2022).

Al analizar la prevalencia de la endometriosis y los trastornos de ansiedad, la Mtra. Sánchez identificó que aproximadamente el 40 % de las personas con endometriosis también presentan ansiedad. Según su hipótesis, la interacción entre ambas condiciones podría intensificar el dolor (L. Sánchez; comunicación personal, 22 de julio de 2026).



Figura 3. Representación de algunos signos y manifestaciones asociados con los trastornos de ansiedad.
Fuente: Konkel (2023).

Esta correlación la llevó a proponer un dispositivo que mida continuamente el cortisol para identificar picos de estrés (cortisol alto) y analizar su relación con el aumento posterior del dolor menstrual (Sánchez, 2026).

Esto es relevante porque los medicamentos para el dolor menstrual suelen ser más eficaces antes de que este se intensifique (Becker *et al.*, 2022; American College of Obstetricians and Gynecologists, 2018). Si el monitoreo per-



mite anticipar los episodios, las pacientes podrían intervenir a tiempo y controlar mejor sus síntomas (Sánchez, 2026). Más que reaccionar cuando el dolor ya es incapacitante, podrían recuperar la tranquilidad de vivir sin el temor de que una crisis interrumpa sus actividades.

Aunque parece una tecnología de ficción, el dispositivo utiliza saliva para medir la concentración de cortisol libre. Como esta hormona pasa de la sangre a la saliva, sus niveles reflejan de forma confiable el cortisol libre circulante y funcionan como biomarcador de la respuesta fisiológica al estrés (Sánchez, 2026; Inder *et al.*, 2012).

Biomarcador

Un biomarcador es una característica biológica medible que proporciona información sobre el estado de salud o enfermedad de una persona (FDA-NIH Biomarker Working Group, 2016).

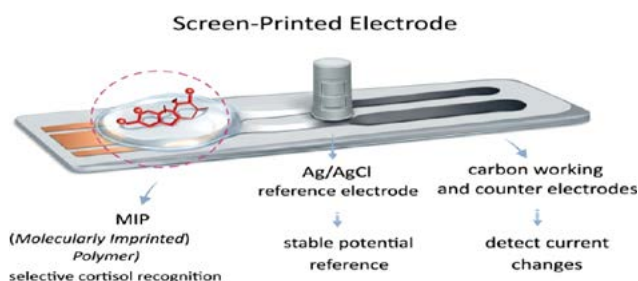


Figura 4. Propuesta de diseño para dispositivo. Esquema de un electrodo serigrafiado (SPE) con reconocimiento molecular para la detección selectiva de cortisol. Fuente: Sánchez (2026).

¿Cómo funciona? La respuesta está en los MIP, capaces de reconocer el cortisol entre las sustancias de la saliva (Sánchez, 2026).

Los MIP funcionan como moldes diseñados para reconocer compuestos específicos. Se forma un polímero alrededor de moléculas de cortisol; después, la hormona se retira y deja cavidades con su misma forma: cerraduras hechas para una sola llave.

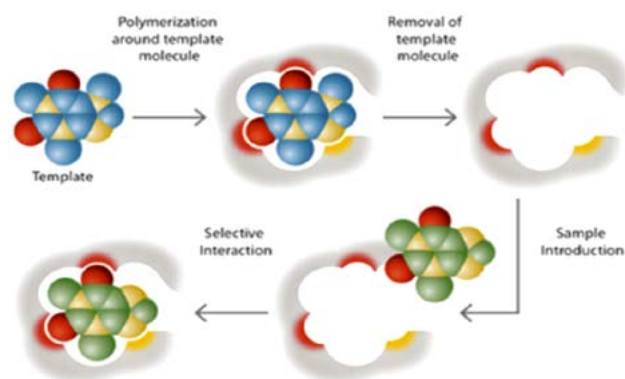


Figura 5. Esquema del proceso de selección de polímeros con impresión molecular (MIP). Fuente: Bicerano & Associates (s. f.).

Al colocar el MIP sobre el dispositivo y depositar una muestra de saliva, las moléculas de cortisol encajan en esas cavidades, mientras las demás sustancias quedan fuera (Sánchez, 2026; Chen *et al.*, 2016).

El verdadero valor del dispositivo no está únicamente en medir el cortisol, sino en convertir los datos en información útil: reconocer patrones, anticipar episodios de dolor y facilitar una intervención temprana. Además, estos datos pueden ayudar a distintos especialistas a colaborar y ofrecer tratamientos más personalizados (Sánchez, 2026; Becker *et al.*, 2022; American College of Obstetricians and Gynecologists, 2018).



Figura 6. Comparación entre el modelo reactivo y el modelo predictivo para el manejo del dolor en la endometriosis. Fuente: Sánchez (2026).



Para concluir, quisiera retomar una idea de mi entrevista con la Ing. Sánchez: aunque existen científicos comprometidos con estas enfermedades, aún hacen falta más personas interesadas en investigar la salud femenina. Ese interés solo puede crecer cuando estos temas dejan de permanecer en silencio.

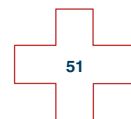
La ciencia comienza cuando nos atrevemos a mirar los problemas de frente. A veces basta con compartir información y abrir la mente a realidades que quizá no vivimos en carne propia. La endometriosis demuestra que, cuando falta conocimiento, el dolor ajeno corre el riesgo de permanecer oculto en los consultorios médicos.

Por eso es fundamental informarnos y despertar nuestra curiosidad científica. Solo así podremos impulsar nuevas investigaciones, encontrar mejores respuestas y acercarnos a un futuro más empático, más informado y, sobre todo, más responsable.

Agradezco profundamente a la Mtra. Luz Elena Sánchez por brindarme la oportunidad de entrevistarla y por compartir información adicional sobre el desarrollo de su proyecto de investigación. Asimismo, la investigadora proporcionó su correo institucional y autorizó su difusión mediante este medio para que las personas interesadas en conocer más sobre su trabajo puedan ponerse en contacto con ella: lesanchezva@miners.utep.edu

Referencias

- American College of Obstetricians and Gynecologists (2018). Dysmenorrhea and Endometriosis in the Adolescent. Committee Opinion No. 760. *Obstetrics & Gynecology*, 132:e249-e258.
- Becker, C. M., Bokor, A., Heikinheimo, O., et al. (2022). ESHRE guideline: endometriosis. *Human Reproduction Open*, (2), hoac009. doi:10.1093/hropen/hoac009.
- Bicerano & Associates (s. f.). Selection of Molecularly Imprinted Polymers. *PolymerExpert*. <https://polymerexpert.biz/blog/163-selection-of-molecularlyimprinted-polymers>
- Chen, L., Wang, X., Lu, W., Wu, X., y Li, J. (2016). Molecular imprinting: perspectives and applications. *Chemical Society Reviews*, 45(8), 2137-2211.
- Della Corte, L., Di Filippo, C., Gabrielli, O., Reppuccia, S., La Rosa, V. L., Ragusa, R., et al. (2020). The burden of endometriosis on women's lifespan: a narrative overview on quality of life and psychosocial wellbeing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13): 4683.
- Ellis, K., Munro, D., y Clarke, J. (2022). Endometriosis is undervalued: a call to action. *Frontiers in Global Women's Health*, 3: 902371. doi:10.3389/fgwh.2022.902371.
- FDA-NIH Biomarker Working Group (2016). BEST (Biomarkers, Endpoints, and other Tools) Resource [Internet]. Silver Spring (MD): Food and Drug Administration (US); Bethesda (MD): National Institutes of Health (US).
- Inder, W. J., Dimeski, G., Russell, A. (2012). Measurement of salivary cortisol in 2012: laboratory techniques and clinical indications. *Clinical Endocrinology (Oxf.)*, 77(5), 645-651. doi:10.1111/j.1365-2265.2012.04508.x
- Kirk, U. B., Bank-Mikkelsen, A. S., Rytter, D. et al. Understanding endometriosis underfunding and its detrimental impact on awareness and research. *npj Womens Health* 2, 45 (2024). <https://www.nature.com/articles/s44294-024-00048-6>
- Konkel, L. (2023). What are common symptoms of anxiety disorders. *Everyday Health*. <https://www.everydayhealth.com/mental-health-conditions/anxiety-disorder-signs/>
- Rodríguez Morante, D., y Vila Minguell, P. (2025). Endometriosis. *Sant Joan de Déu*. <https://escolasalut.sjdhospitalbarcelona.org/es/enfermedades/enfermedad/endometriosis>
- Sánchez, L. (2026). Predicting Pain Before It Starts: A Reusable MIP-Based Platform for High-Frequency Cortisol Monitoring in Endometriosis. Póster divulgativo inédito. The University of Texas at El Paso (UTEP). Disponible previa solicitud a la autora.
- World Health Organization (2025, 15 de octubre). Endometriosis *World Health Organization*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/endometriosis>
- Zondervan, K.T., Becker, C. M., y Missmer, S. A. (2020). Endometriosis. *New England Journal of Medicine*, 382(13), 1244-1256. doi:10.1056/NEJMra1810764.





LA IA MÁS ALLÁ DE TUS TAREAS

LEONARDO FRANCO OLIVERA PACHECO
Ingeniería Biomédica, 4.º semestre

¿Recuerdas cómo hacías tus tareas por allá en 2018, 2019 o 2020? Te metías a internet y buscabas páginas web, artículos en pdf, revisabas la biblioteca digital o incluso física de tu escuela, esperando que la información que anhelas encontrar estuviera ahí y la localizaras rápidamente. A veces sí estaba en el primer *link* en el que te metías, pero en otras ocasiones tenías que invertir más tiempo explorando y leyendo... ¡Qué recuerdos!, ¿no?

En la actualidad, una gran parte de tus tareas se las preguntas a tu inteligencia artificial de confianza, ChatGPT, Gemini, Claude, y fácilmente tienes ya las respuestas, los artículos, las páginas web, todo listo. Y no solo utilizas la IA para la escuela; si te duele la panza, le preguntas a Chatsito por qué te duele o si no sabes cocinar un pastel, le preguntas los ingredientes y la receta paso a paso; a veces utilizas más el chat con la IA que tu propio WhatsApp. Incluso utilizamos la IA sin siquiera estar conscientes de ello; interactuamos con ella cuando le pedimos a Alexa que ajuste una alarma, cuando una plataforma de *streaming* nos recomienda una posible próxima serie favorita, cuando corregimos un mensaje con el autocorrector o cuando buscamos en Waze la ruta más rápida para llegar a nuestro destino. La adopción de la IA ha sido muy rápida. El AI Index de Stanford señala que la adopción de la IA generativa alcanzó 53% de la población mundial en apenas tres años, mientras que una encuesta de AP-NORC encontró que en Estados Unidos 60% de los adultos la usa al menos algunas veces para buscar información y alrededor de un tercio la emplea para escri-

bir correos o crear y editar imágenes (Stanford HAI, 2026; O'Brien y Sanders, 2025).

Sin embargo, fuera de los teléfonos celulares, la IA está dejando de ser un simple *software* de consulta para convertirse en una compañera intelectual y operativa capaz de transformar la ciencia y la ingeniería. ¿Te has puesto a pensar cómo es que los médicos utilizan la IA? o ¿cómo la IA les ayuda a las empresas dedicadas a innovar con dispositivos como computadoras y celulares? Hoy en día, los profesionales en todas las áreas colaboran hombro a hombro con sistemas de IA para diseñar motores de avión desde cero, comandar laboratorios químicos autónomos, diagnosticar enfermedades a través de imágenes médicas avanzadas y liberar las computadoras de las pantallas físicas tradicionales.

Es por ello que te voy a presentar cuatro proyectos vanguardistas que se están desarrollando con la inteligencia artificial como coprotagonista, y seguramente por lo menos uno de ellos te hará decir "wow".

1. Coscientist, un nuevo "compañero de laboratorio" autónomo

Desarrollado por investigadores de la Universidad Carnegie Mellon (CMU), Coscientist es un sistema basado en IA diseñado para automatizar de manera integral el proceso de investigación química. Permite a los científicos introducir comandos simples en lenguaje natural y utiliza modelos de lenguaje de gran escala (LLM) que leen la literatura científica, sintetizan información, diseñan rutas de síntesis



químicas y traducen las instrucciones a código informático que controla instrumentos robóticos en laboratorios automatizados. Su mayor innovación radica en que derriba la barrera de la programación; al permitir interacciones en lenguaje natural, democratiza el acceso a la ciencia de alto nivel para investigadores que no dominan el código, garantizando así la trazabilidad y reproducibilidad de los experimentos (Duffy, 2023). En la actualidad, Coscientist ya ha planificado y ejecutado con éxito la síntesis de compuestos químicos y puede controlar instrumentos de manejo de líquidos. Como resultado de este avance, la CMU abrirá un laboratorio en la nube (Cloud Lab) donde otros investigadores podrán utilizar remotamente estas tecnologías de automatización (Duffy, 2023).



Figura 1. Laboratorio automatizado de Carnegie Mellon University utilizado para apoyar la investigación científica mediante inteligencia artificial.

Fuente: Imagen tomada de AI Coscientist automates scientific discovery: <https://engineering.cmu.edu/news-events/news/2023/12/20-ai-coscientist.html>

2. JARVIS Challenge, la IA en la ingeniería aeroespacial

El Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) organizó recientemente el JARVIS Challenge, un proyecto donde equipos de estudiantes universitarios tuvieron tan solo cuatro semanas para diseñar, fabricar, ensamblar y probar un motor turborreactor funcional. En este desafío, los estudiantes contaron con copilotos de IA utilizando una plataforma llamada Parley, la cual les dio acceso a diversos modelos de lenguaje para resumir libros de texto,

aprender a utilizar *software* de diseño, buscar proveedores y comparar opciones arquitectónicas para sus motores. Este proyecto es altamente innovador porque demostró cómo los copilotos de IA pueden comprimir ciclos de desarrollo de *hardware* crítico de años a semanas, sirviendo como multiplicador de la productividad cuando el criterio humano guía el proceso (Liberty, 2026).

Hoy en día, el proyecto se considera un éxito: el equipo ganador, 811 Crew, logró que su motor arrancara, hiciera la transición a combustible aeronáutico Jet-A y generara empuje neto. Sin embargo, la conclusión actual del proyecto dejó claro que, si bien la IA acelera drásticamente la ingeniería de *hardware*, la experiencia, la responsabilidad humana y el criterio de ingeniería siguen siendo el factor vital (Liberty, 2026).

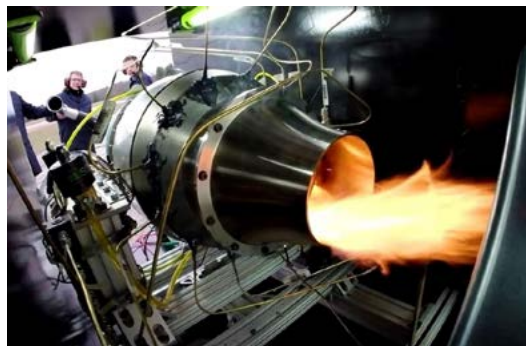


Figura 2. Prueba de encendido de un motor a reacción desarrollado durante el JARVIS Challenge.

Fuente: Imagen tomada de <https://news.mit.edu/2026/can-ai-build-jet-engine-jarvis-challenge-tests-ai-copilots-in-tough-tech-engineering-0714>

3. MultiverSeg, la IA en la investigación médica por imagen

En el campo de la salud, investigadores del MIT desarrollaron MultiverSeg, una nueva herramienta basada en IA diseñada para la segmentación de imágenes médicas, un proceso clínico que consiste en delinear y anotar áreas de interés (como un órgano o tumor) y que habitualmente consume muchísimo tiempo. La IA se involucra al predecir la segmentación basándose en interacciones simples del usuario,



como clics o trazos en la pantalla. A medida que el usuario trabaja, la herramienta utiliza un conjunto de contexto de las imágenes previas para ir mejorando automáticamente sus predicciones, con cada nueva imagen, la IA requiere menos interacción humana hasta lograr la segmentación autónoma. La innovación está en que el sistema no requiere que el médico tenga experiencia en aprendizaje automático ni necesita que se cargue un conjunto de datos presegmentados masivo para entrenar el modelo desde cero, reduciendo hasta en un 33% los trazos e interacciones requeridas respecto a herramientas previas (Zewe, 2025).

Hoy en día, la herramienta ya alcanza una precisión del 90%, requiriendo menos clics que otros sistemas; de hecho, para la novena imagen analizada, la IA solo necesita dos clics del usuario para generar un resultado preciso. Los creadores planean llevar esta tecnología a entornos clínicos reales y adaptarla a imágenes biomédicas tridimensionales, lo que acelerará los ensayos médicos y el estudio de nuevos tratamientos (Zewe, 2025).

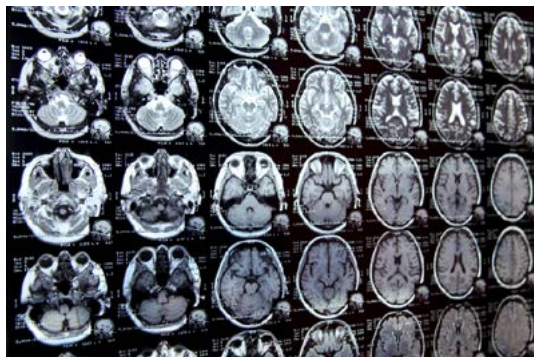


Figura 3. Imágenes de resonancia magnética del cerebro utilizadas para identificar y analizar estructuras de interés clínico. Fuente: Imagen tomada de <https://news.mit.edu/2025/new-ai-system-could-accelerate-clinical-research-0925>

4. Las gafas AR INAIR 2 Elite, la computadora espacial sin pantalla

La manera en la que consumimos información también está evolucionando con INAIR 2 Elite Suite, un sistema de computación espacial im-

pulsado por un sistema operativo de inteligencia artificial, unas gafas de realidad aumentada (AR), un módulo central y un teclado táctil. En este proyecto, la IA está involucrada en tiempo real mediante un motor de renderizado que convierte cualquier imagen o video en 2D en una experiencia visual espacial en 3D. Esta tecnología resulta innovadora porque elimina la dependencia de los monitores físicos tradicionales: permite transmitir remotamente la pantalla de una computadora a un monitor virtual de 135 pulgadas, así como operar un ecosistema de aplicaciones Android abriendo hasta seis ventanas virtuales que flotan en el espacio del usuario (Manuals+ , 2026).

En la actualidad, este sistema ya se encuentra en el mercado como una herramienta comercial completa, ofreciendo inmersión ajustable, soporte para lentes con prescripción óptica y un teclado inteligente capaz de reconocer gestos con múltiples dedos (Manuals+ , 2026).



Figura 4. Imagen del *hardware* del producto. Fuente: Imagen tomada de <https://inairspace.com/>



Figura 5. Representación gráfica del uso de las gafas AR INAIR 2 Elite.

Fuente: Imagen tomada de https://www.alibaba.com/product-detail/INAIR-2-Pro-AR-Glasses-With_1601429795665.html



Ya que conocemos estos grandes avances tecnológicos, debemos estar conscientes de que nos encontramos ante una transformación histórica en nuestra relación con la tecnología. Sin embargo, lo que estos proyectos tienen en común es que la IA no sustituye la creatividad humana, sino que absorbe la carga operativa pesada (cálculos repetitivos, lectura masiva, pruebas de código), permitiendo que el científico o ingeniero se enfoque en la intuición, la estrategia y el impacto real.

Seamos estudiantes, profesionales o solamente personas curiosas, debemos ver a la inteligencia artificial no como una amenaza sino como una verdadera compañera de vida que expande nuestros sentidos y potencia nuestras capacidades. Nos demuestra que el futuro del conocimiento y la innovación no pertenecerá a las máquinas solas, sino a la grandiosa sinergia que se genera con la inteligencia humana y la inteligencia artificial.

Referencias

- Duffy, J. (2023, 20 de diciembre). AI Coscientist automates scientific discovery. *Carnegie Mellon University College of Engineering*. <https://engineering.cmu.edu/news-events/news/2023/12/20-ai-coscientist.html>
- Liberty, J. (2026, 14 de julio). Can AI build a jet engine? JARVIS Challenge tests role of AI copilots in tough-tech engineering. *MIT News*. <https://news.mit.edu/2026/can-ai-build-jet-engine-jarvis-challenge-tests-ai-copilots-in-tough-tech-engineering-0714>
- Manuals+ Editorial Board (2026). *INAIR 2 Elite Spatial Computer AR Glasses User Manual*. Manuals+. <https://manuals.plus/asin/B0DZ25V6LF>
- O'Brien, M., y Sanders, L. (2025, 29 de julio). *How US adults are using AI, according to AP-NORC polling*. The Associated Press. <https://www.ap.org/news-highlights/spotlights/2025/how-us-adults-are-using-ai-according-to-ap-norc-polling/>
- Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence [HAI] (2026). *The 2026 AI Index Report*. Stanford University. <https://hai.stanford.edu/ai-index/2026-ai-index-report>
- Zewe, A. (2025, 25 de septiembre). New AI system could accelerate clinical research. *MIT News*. <https://news.mit.edu/2025/new-ai-system-could-accelerate-clinical-research-0925>

7 RAZONES PARA ESTUDIAR ENGINEERING MANAGEMENT

— Tecnología + negocios + liderazgo —



01 | CONVIERTE LA IA EN TU ALIADA

Analiza datos y aprovecha nuevas tecnologías.



02 | PIENSA COMO INGENIERO

Resuelve problemas reales con visión estratégica.



03 | ENTIENDE EL MUNDO DE LOS NEGOCIOS

Transforma ideas en proyectos con impacto.



04 | LIDERA, NO SOLO EJECUTES

Dirige equipos, innovación y transformación.



05 | CONECTA CON EL MUNDO

Vive experiencias académicas internacionales.



06 | ELIGE TU PROPIO CAMINO

Desarrollate en tecnología, consultoría o emprendimiento.



07 | GENERA IMPACTO CON PROPÓSITO

Combina innovación, ética y visión humana.



NO SOLO IMAGINES EL FUTURO. LIDÉRALO.

**ANÁHUAC
MÉXICO**

Más información:

Mtra. Norma Diego (norma.diego@anahuac.mx)

mexico.anahuac.mx/licenciaturas/engineering-management