

Año 3, Número 5, agosto-diciembre 2025. Publicada el 5 de diciembre de 2025

LA RENOVABLE

**Cuando el lodo enciende la luz:
microorganismos que podrían
producir electricidad**



El transporte eléctrico

Más allá del color

Conversando sobre «difusión»: el orden del caos

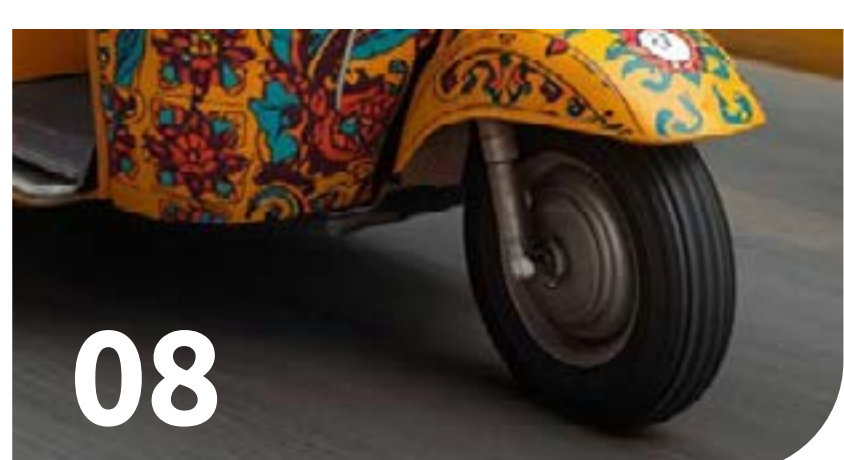
TBT con el carbón activado: podemos recuperar
nuestra calidad de agua

Funcionalidades interactivas

Pensando en tu comodidad, hemos diseñado esta revista digital con diversas funcionalidades interactivas que transformarán tu experiencia de lectura en algo dinámico, fluido y fácil de explorar.

La tabla de contenido te permite desplazarte de manera ágil entre los temas. Solo haz clic o toca los títulos o números de página para ir directamente al contenido.

Las imágenes superiores también funcionan como accesos rápidos a los temas más relevantes. Un solo toque y estarás allí.



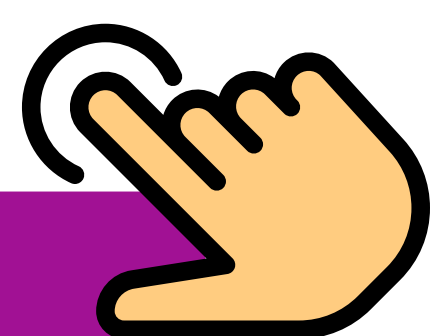
Contenido

Tendencias actuales

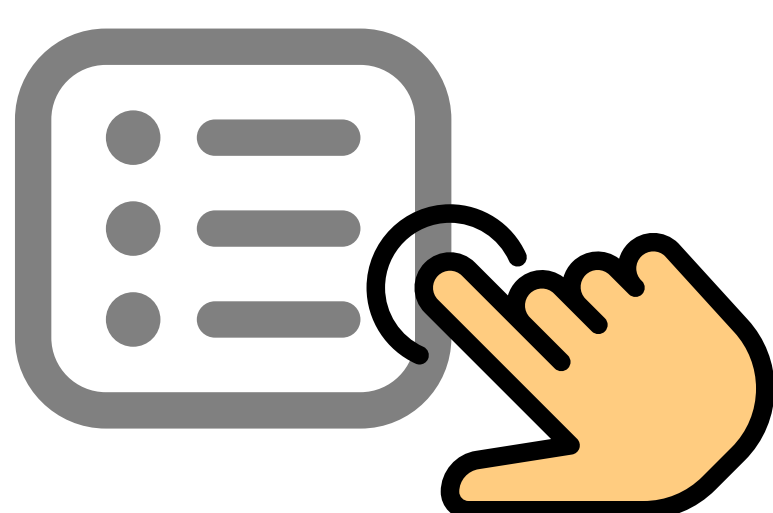
- Cuando el lodo enciende la luz: microorganismos que podrían producir electricidad5
Francisco Vera López Portillo y Dulce María Arias Lizárraga

Energía y sociedad

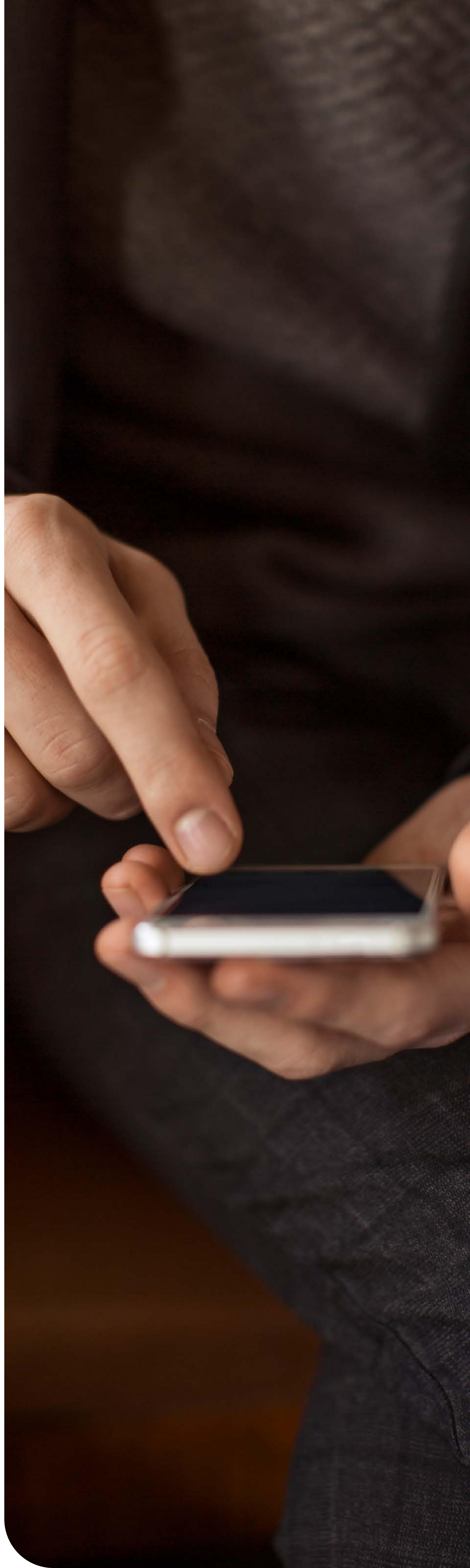
- El transporte eléctrico..... 8
Antonio del Río Portilla



Y para que nunca te pierdas, hemos incorporado un botón en la esquina inferior derecha que te llevará de vuelta a la tabla de contenidos desde cualquier página.



Esperamos que disfrutes de esta publicación que con mucha dedicación hemos creado para ti.



Directorio

UNAM

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas

Rector

Dra. Patricia Dávila Aranda

Secretaria General

Mtro. Tomás Humberto Rubio Pérez

Secretario Administrativo

Dra. Diana Tamara Martínez Ruiz

Secretaria de Desarrollo Institucional

Dra. María Soledad Funes Argüello

Coordinadora de la Investigación Científica

Instituto de Energías Renovables

Dr. Miguel Robles Pérez

Director

Dr. Osvaldo Rodríguez Hernández

Secretario Académico

Lic. Celeste Morales Santiago

Secretaria de Gestión Tecnológica y Vinculación

Lic. Daniela P. Juárez Bahena

Jefa de la Unidad de Comunicación de la Ciencia

La Renovable

Mtra. Nicté Yasmín Luna Medina

Editora

Mtro. C. David Leal Fulgencio

Asistente editorial

Lic. Daniela P. Juárez Bahena

Encargada de promoción y difusión

Mtra. Carolina Aguayo Miranda

Encargada del marketing digital

EsBrillante

Diseño gráfico

Portada

Dr. Francisco Vera López Portillo

Editada por asistencia virtual ChatGPT

Indicación: [Se le proporcionó una imagen] *Quiero lo mismo, pero en estilo Van Gogh. Mantén la escena rural, una persona interactuando con el agua y un biosensor microbiano funcionando como indicador visual.*

Contraportada

Mtra. Carolina Aguayo Miranda

Consejo editorial

Dr. Mariano López de Haro

Fis. Juan Tonda Mazón

Dra. Marina Elizabeth Rincón González

Dr. Sergio Cuevas García

Dr. Eduardo Ramos Mora

Dr. Jesús Antonio del Río Portilla

Dra. Dulce María Arias Lizárraga

Personas revisoras invitadas

Dr. Gustavo Santos Raga

Dra. Yuridiana Rocío Galindo Luna

Dr. Ugochukwu Patrick Okoye

Dr. Asiel Neftalí Corpus Mendoza

Corrección de estilo

Mtro. C. David Leal Fulgencio

Mtra. Nicté Yasmín Luna Medina

Lic. Daniela P. Juárez Bahena

La Renovable, Año 3, No. 5, septiembre-diciembre 2025 es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 045510, Ciudad de México, a través del Instituto de Energías Renovables. Domicilio: Privada Xochicalco S/N Temixco, Morelos, México C.P. 62580. Teléfonos: (52) 777 362 0090 (ext. 29744) y (52) 555 622 9744. <https://www.ier.unam.mx/LaRenovable.html>, larenovable@unam.mx.

La Renovable © 2025 del Instituto de Energías Renovables de la UNAM tiene licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Editora responsable: Nicté Yasmín Luna Medina. Certificado de Reserva de Derechos al uso Exclusivo No. 04-2023-012010580600-102. ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Instituto de Energías Renovables, Privada Xochicalco S/N Temixco, Morelos, México C.P. 62580, fecha de la última modificación, 4 de diciembre de 2025.

El contenido de los artículos es responsabilidad de las personas autoras y no refleja el punto de vista del Consejo editorial o de la UNAM. Se prohíbe la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados por cualquier medio sin la autorización expresa de las personas editoras.

Contenido

Tendencias actuales

- **Cuando el lodo enciende la luz: microorganismos que podrían producir electricidad**.....5
Francisco Vera López Portillo y Dulce María Arias Lizárraga

Energía y sociedad

- **El transporte eléctrico**..... 8
Antonio del Río Portilla

Ventana a las energías renovables

- **Más allá del color** 12
Azucena Silva Cortes y Anabel López Ortiz
- **Un futuro forjado en hierro** 15
Luis Ángel Arellanes Mendoza

Entrevista con

- **Conversando sobre «difusión»: el orden del caos**.....18
Manira Elena Narvaez Saucedo
- **Energía para el futuro. La visión del Dr. José de los Reyes sobre la transición energética** 21
Jorge Chavarría Ornelas

Algo más

- **TBT con el carbón activado: podemos recuperar nuestra calidad de agua**..... 24
Estefanía Duque Brito

Renueva tus conocimientos

- **Los propios dioses** 28
Jonathan Ibarra Bahena

INSTITUTO DE ENERGÍAS
RENOVABLES
U.N.A.M.



Carta editorial

Con alegría te compartimos este número con el que cerramos el 2025 en el que se ofrecen diferentes voces que en su conjunto abordan el trinomio: energía-agua-alimentos con desarrollos tecnológicos que son prometedores para tener un mundo sustentable.

Lo que encontrarás en este menú de La Renovable es lo siguiente. Francisco Vera y Dulce Arias traen para ti un texto sobre cómo generar electricidad con lodos; microalgas y cianobacterias, sus líneas te acercarán al mundo de la bioelectricidad; una de las tendencias actuales en las energías renovables.

De la intimidad de los lodos, pasamos a recorrer las calles y avenidas de nuestras ciudades y pueblos. Antonio del Río reflexiona sobre la urgencia de transitar hacia la electromovilidad para contribuir significativamente a la reducción de gases contaminantes que dañan al planeta y a nuestra salud. Nos presenta las investigaciones que ha realizado en el IER-UNAM sobre transporte público eléctrico, intercambio de baterías, energías renovables y experiencias locales que muestran que el futuro de la movilidad puede —y debe— ser distinto.

La ventana de las energías renovables se abre para mostrarte cómo la ciencia y tecnología transforman nuestro mundo. Presentamos «Más allá del color» de Azucena Silva y Anabel López, un texto que revela cómo la ingeniería de alimentos y la óptica trabajan juntas para ofrecer alimentos deshidratados que conserven sus biocompuestos; que no sólo los pintan de colores, sino que también protegen y nutren. Por otro lado, Luis Arellanes nos acerca a un elemento químico que está muy presente en nuestras vidas cotidianas: el hierro. Desde la cuchara con la que desayunamos hasta las turbinas que

permiten generar energía renovable, el hierro sostiene buena parte de nuestra vida moderna. ¿Podría también impulsar el almacenamiento de energía del futuro? Las baterías hierro-aire apuntan a una posibilidad donde abundancia, bajo costo y reciclabilidad convergen para democratizar la energía.

En esta ocasión, encontrarás dos conversaciones que aunque parten de temas diferentes, pero convergen en uno: la energía. Manira Narvaez nos invita a mirar la ciencia de lo cotidiano: el aroma del café y partículas de polvo flotando a la luz. A través de la voz de dos investigadores del IER-UNAM, nos acercamos al tema de la «difusión», donde el caos molecular se convierte en un orden predecible. Por otro lado, en Energía para el futuro, Jorge Chavarría conversa con el Dr. José de los Reyes Heredia, académico cuya trayectoria ilumina el camino hacia una transición energética más humana, inteligente y sostenible. Sus reflexiones sobre biomasa, hidrógeno verde, electromovilidad y políticas públicas nos recuerdan que el cambio tecnológico no es solo cuestión de dispositivos, sino de visión y voluntad colectiva.

Finalmente, te traemos *Algo más*, Estefanía Duque nos habla sobre un compuesto antiguo pero vigente: el carbón activado, un material poderoso que es protagonista en el tratamiento del agua. Entre ciencia, nostalgia noventera y retos ambientales, este texto nos recuerda que la transición hacia un futuro sostenible también pasa por tecnologías accesibles, regenerables y profundamente ligadas a nuestra relación con el entorno.

Ojalá que disfrutes este recorrido lleno de ciencia y tecnología desarrolladas para hacer frente a grandes desafíos que nuestra sociedad enfrenta hoy en día. 🌱

Nicté Luna
Editora

Cuando el lodo enciende la luz: microorganismos que podrían producir electricidad

Francisco Vera López Portillo
Dulce María Arias Lizárraga

Una chispa inesperada en el lodo

Siempre pasamos junto a los charcos de lodo y los vemos como un problema: obstáculos incómodos que a veces tienen malos olores. Yo mismo los veía así. Y aunque durante mi formación académica estudié microbiología, fisiología microbiana y bacteriología, reconociendo las enormes capacidades de adaptación que tienen las bacterias, lo cierto es que nunca me detuve a pensar qué tan útiles podían ser más allá de lo que se aprende con libros y los exámenes.

Conocía bien sus rutas metabólicas, sus mecanismos bioquímicos y su asombrosa diversidad, pero no fue sino hasta que llegué al Laboratorio Microbiología Ambiental, en el Instituto de Biotecnología de la UNAM, que observé algo que me sorprendió: pequeños dispositivos conectados directamente a lodos, capaces de generar electricidad. Esa imagen me hizo comprender que aquellos charcos que antes veía como un estorbo podían ser, en realidad, diminutas plantas de energía. Actualmente, trabajando directamente con celdas biofotovoltaicas en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM (IER-UNAM), puedo ver cómo esta idea se transforma en proyectos reales que no solo producen corriente eléctrica, sino que también ayudan a limpiar aguas residuales y a explorar nuevas formas de aprovechar lo que normalmente consideramos desecho (Figura 1). En los siguientes párrafos quiero contarte, junto a mi actual colega: la Dra. Dulce Arias, qué son estas tecnologías, cómo funcionan y por qué podrían jugar un papel clave en la transición hacia energías más limpias.



Figura 1. Microorganismos capaces de limpiar agua y generar energía verde.

¿Cómo logran los microorganismos producir electricidad?

Las bacterias y algunas algas microscópicas que viven en el lodo o en el agua, al igual que nosotros, necesitan comida para vivir. Así como nuestro cuerpo transforma los alimentos en energía para movernos y pensar, ellos hacen lo mismo con la materia orgánica, como restos de plantas, alimentos o desechos, que encuentran en el lodo o en el agua. En ese proceso, sus células extraen partículas diminutas llamadas electrones, que son las responsables de la electricidad cuando se mueven de un lugar a otro. Normalmente, estos electrones viajan dentro de la célula por diferentes rutas metabólicas para producir la energía que las mantiene funcionando. Pero no todos los electrones llegan a ese destino interno, algunos pueden desviarse y salir al exterior de la célula.

Es justo ahí donde entra en juego el electrodo, que no es más que una superficie conductora, como una placa de carbón o de metal, que actúa como un enchufe. Si colocamos un electrodo cerca de la comunidad microbiana, los microorganismos depositan en él esos electrones que escapan de su metabolismo. Cuando millones de ellos lo hacen al mismo tiempo, el electrodo envía un flujo de electrones por un cable hacia afuera, generando lo que conocemos como corriente eléctrica. Y aunque se trate de una corriente pequeña, puede ser suficiente para encender una lámpara LED, alimentar un sensor o registrar datos en un laboratorio. Este proceso puede

representarse de manera simplificada con una celda bioelectroquímica, donde las bacterias transfieren electrones al ánodo y generan una corriente que fluye hacia el cátodo (Figura 2).

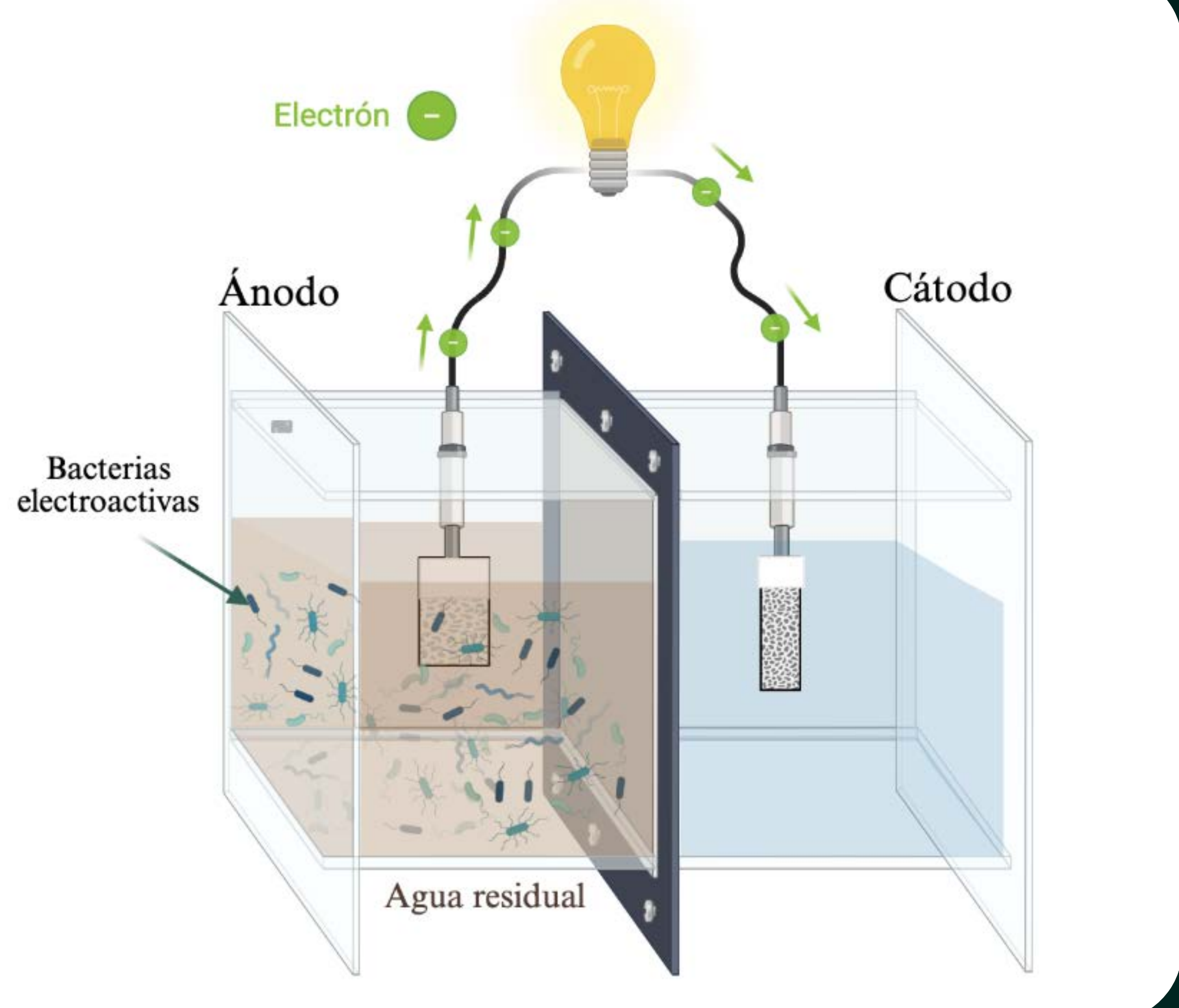


Figura 2. Funcionamiento de una celda bioelectroquímica; las bacterias electroactivas transfieren electrones al ánodo, generando una corriente eléctrica que fluye hacia el cátodo, permitiendo producir energía limpia a partir de agua residual.

¿Todos los microorganismos pueden hacerlo?

Después de lo que explicamos, uno podría pensar que cualquier bacteria o alga microscópica puede generar electricidad y la respuesta es sí; pero no todos lo hacen de la misma manera. En teoría, cualquier ser vivo que consume alimento libera electrones en sus procesos internos; pero solo algunos tienen la capacidad de sacarlos fuera de la célula y transferirlos a un electrodo. A estos se les conoce como microorganismos electroactivos, un buen ejemplo son las bacterias como *Geobacter* y *Shewanella*, que en la naturaleza depositan sus electrones en metales como hierro o manganeso y que en el laboratorio pueden hacerlo también en una superficie conductora, lo que las convierte en especialistas en donar electrones.

Sin embargo, no se trata únicamente de bacterias que se alimentan de compuestos orgánicos. En nuestra investigación utilizamos microalgas y cianobacterias, organismos que, a diferencia de los anteriores, obtienen su energía directamente de la luz solar a tra-

vés de la fotosíntesis. Igual que las plantas, transforman agua y dióxido de carbono en biomasa, y durante ese proceso también liberan electrones que pueden desviarse hacia un electrodo. Así, mientras unas bacterias producen electricidad al comer, las microalgas y cianobacterias lo hacen gracias a la luz, mostrando que existen distintos caminos biológicos para llegar al mismo resultado: convertir procesos de la vida microscópica en energía eléctrica.

De los laboratorios a las aplicaciones reales

Cuando hablamos de lodos, no nos referimos únicamente al barro que queda tras una lluvia, sino a una mezcla compleja de agua, microorganismos y materia orgánica que se acumula en lugares como en el fondo de lagunas, ríos o humedales, así como en los tanques de las plantas de tratamiento de aguas residuales. A simple vista, parecen un desecho sin valor, pero en realidad son ecosistemas donde millones de bacterias y microalgas transforman la materia que los rodea. Lo sorprendente es que, como ya explicamos, si se les conecta adecuadamente, esos mismos lodos pueden comportarse como pequeñas fábricas de electricidad.

Lo que hace algunos años parecía una curiosidad en frascos de laboratorio, hoy se traduce en aplicaciones concretas. Un ejemplo son los biosensores autónomos (Figura 3), dispositivos que utilizan la electricidad generada por los microorganismos para medir la calidad del agua: si está limpia, la señal se mantiene estable; si hay contaminantes, la señal se altera. Gracias a ello, es posible detectar contaminación en tiempo real sin necesidad de baterías externas, ya que el propio lodo se convierte en la fuente de energía del sensor. Estos sistemas incluso se han probado directamente en corrientes de agua, donde operan durante semanas sin mantenimiento.

En comunidades rurales o aisladas, este tipo de tecnología se ha utilizado para encender lámparas LED, alimentar sensores ambientales o mantener pequeños equipos de monitoreo, demostrando que no es necesario

contar con infraestructura eléctrica compleja para aprovechar la energía biológica. Se trata de soluciones descentralizadas, sostenibles y de bajo costo que pueden marcar la diferencia en regiones sin acceso confiable a la electricidad. Además, estos proyectos abren la puerta a la participación de las comunidades locales. Los propios habitantes podrían involucrarse en el cultivo de microalgas, la construcción de los sistemas o el mantenimiento básico de los electrodos, generando capacidades técnicas y fortaleciendo su autonomía energética. Este tipo de iniciativas no solo promueven el aprovechamiento responsable de los recursos naturales, sino también la educación científica y la apropiación social de la tecnología, demostrando que la transición energética puede impulsarse desde lo local hacia lo global.



Figura 3. Aplicaciones comunitarias de los biosensores microbianos.

Desafíos y próximos pasos

Aunque estos sistemas han mostrado resultados prometedores, todavía enfrentan limitaciones importantes. La electricidad que generan sigue siendo baja e inestable, lo que dificulta su aplicación más allá del laboratorio. Escalarlos también representa un reto: lo que funciona en un frasco con unos cuantos mililitros de lodo o en un pequeño cultivo de microalgas no se comporta igual en reactores grandes, donde la geometría, la distribución de nutrientes o la llegada de la luz cambian por completo. Hoy se exploran distintas líneas de investigación que buscan superar estos obstáculos. Una de ellas es el diseño de reactores con geometrías que permitan aprovechar mejor el trabajo de los

microorganismos al pasar de pequeña a gran escala. Otra es la búsqueda de nuevas especies de bacterias, cianobacterias y microalgas capaces de transferir más electrones, junto con la posibilidad de usar ingeniería genética para potenciar sus capacidades naturales. También se investiga en la optimización de los electrodos, de modo que sean más eficientes, duraderos y accesibles para usos prácticos. Todos estos esfuerzos buscan que, en el futuro, estas tecnologías no se limiten a experimentos de laboratorio o aplicaciones puntuales como sensores, sino que puedan consolidarse como una alternativa real de bioelectricidad, mostrando que incluso en algo tan común y aparentemente insignificante como un lodo o una microalga puede esconderse una nueva forma de energía.

En el Laboratorio de Ciencia e Ingeniería del Agua del IER-UNAM trabajamos precisamente en algunos de estos retos, desde el diseño de nuevos materiales hasta el uso de microalgas para el tratamiento de aguas residuales. México cuenta con una comunidad científica activa en este campo, lo que abre la posibilidad a que estas tecnologías no solo sean una curiosidad de laboratorio, sino una contribución real desde México a la transición energética global. 🌱

Referencias

- [1] Zou, L., Zhu, F., Long, Z. *et al.* (2021). Bacterial extracellular electron transfer: a powerful route to the green biosynthesis of inorganic nanomaterials for multifunctional applications. *Journal of Nanobiotechnology*, 19, 120. <https://doi.org/10.1186/s12951-021-00868-7>
- [2] Verma, M., Singh, V. & Mishra, V. (2023). Moving towards the enhancement of extracellular electron transfer in electrogens. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39, 130. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03582-8>
- [3] Mahto, K. U. & Das, S. (2025). Electroactive biofilm communities in microbial fuel cells for the synergistic treatment of wastewater and bioelectricity generation. *Critical Reviews in Biotechnology*, 45(2), 434–453. <https://doi.org/10.1080/07388551.2024.2372070>
- [4] Obileke, K. C., Onyeaka, H., Meyer, E. L. & Nwokolo, N. (2021). Microbial fuel cells, a renewable energy technology for bio-electricity generation: A mini-review. *Electrochemistry Communications*, 125, 107003. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2021.107003>

El transporte eléctrico

Antonio del Río Portilla

El programa Hoy No Circula en la Ciudad de México (CDMX), que ha funcionado por más de 35 años, no ha resuelto el problema de la contaminación y mucho menos ha contribuido a mejorar el transporte; solo prometió falsas ilusiones al augurar una calidad del aire aceptable. Una solución evidente hoy en día es la electromovilidad o transporte eléctrico. Pero en aquel entonces, y aun en la actualidad, muchas personas consideraban que la electromovilidad era muy cara por el alto costo inicial de los vehículos.

Hoy en día, y en el contexto de la Ley General de Cambio Climático y la Agenda 2030, México como país asumió el objetivo o «meta aspiracional» de reducir sus emisiones en un 50 % para el año 2050 con relación a las emitidas en 2000. Para tener una idea del problema, en nuestro país, durante el año 2020, el consumo energético total fue cercano a los 8,500 petajoules; de esta energía, en el transporte se usó el 38.9 %. De este uso de energía para el transporte, en el 2020, solamente el 0.2 % fue electricidad; es decir, el transporte usa combustibles fósiles en más de un 99 %. Por lo tanto, el transporte es un sector totalmente petrolizado ^[1]. Esta situación, aunada a la movilidad basada en infraestructura para el automóvil y camiones de carga, hace que sea urgente la necesidad de migrar a una fuente de energía menos contaminante.

Los costos que no consideramos

En el Instituto de Energías Renovables de la IER-UNAM hemos trabajado desde principios de este siglo en el tema del transporte, realizando estudios de simulación con autómatas celulares ^[2] ^[3] para incrementar el flujo de vehículos en las carreteras, y con ello disminuir las emisiones. En aquel momento, el costo de la movilidad eléctrica no era comparable con el kilómetro recorrido con combustibles fósiles; la sociedad no entendía que los costos asociados con el cambio de la

atmósfera los tendrían que pagar en el futuro. Ese futuro de aquel entonces es hoy. Esta errónea actitud, de basar las decisiones sobre el menor costo momentáneo, no se fundamenta en un cálculo completo. Es decir, en la evaluación de los costos hace falta incluir muchos rubros que estamos pagando al utilizar los automóviles de gasolina; aunque no hayan sido considerados en el cálculo inicial. Es más, hoy en día, esta forma de cálculo se conoce como análisis de ciclo de vida de los productos y servicios.

Ya se cuenta con este tipo de estudios que compara la movilidad basada en combustibles fósiles con la electromovilidad ^[4]. Si se hubiera hecho ese análisis en la década de los 80 del siglo pasado, seguramente habría arrojado que los costos de seguir usando combustibles fósiles eran mayores que los eléctricos y se hubiera fomentado el desarrollo de la electromovilidad. ¿Se imaginan que en lugar de implantar el Hoy No Circula, se hubiera fomentado el desarrollo nacional de la electromovilidad acompañada con la infraestructura pertinente para una movilidad no motorizada?

Recientemente, hicimos un estudio sobre la viabilidad técnica y económica de la sustitución de vehículos en el transporte público de Cuernavaca y Morelia ^[5], dos ciudades medianas con características similares a muchas otras en el territorio mexicano. El resultado indicó que es más barata la sustitución de





la caduca flota de vehículos de combustión interna, de gasolina o diésel, del transporte público con vehículos eléctricos que la sustitución de unidades de combustión interna por otras similares pero «eficientes». También calculamos el valor presente neto y las emisiones de CO² en diferentes escenarios con energías renovables ^[6], los resultados fueron favorables para los eléctricos y las energías renovables. Adicionalmente, los vehículos eléctricos tienen otras ventajas que los hacen todavía más atractivos ^[7]. Entre estos beneficios ocultos están la disminución del ruido, la disminución del fenómeno de la isla de calor en las ciudades y la menor emisión distribuida de gases tóxicos con el correspondiente menor contacto directo de la población con esos gases contaminantes. Por ejemplo, se estima que un vehículo eléctrico emite solamente el 20 % del calor que uno de gasolina ^[7].

Recientemente, analizamos un cambio en el modelo de negocio de la electrificación de flotillas o del transporte público. Analizamos las bondades de intercambiar las baterías de los vehículos en lugar de cargarlos ^[8]. Encontramos que el intercambio de baterías ofrece ventajas en el manejo de la carga, lo que amplía su vida útil y sus posibilidades de reúso y reciclado. Adicionalmente, posibilita un cambio en las opciones para las compa-

ñas energéticas mexicanas al convertirlas en administradoras de diferentes eslabones en el ecosistema de la electromovilidad^[9]. Por estas razones es imperioso exigir un transporte público de calidad y no contaminante. En la CDMX se está transitando en esta dirección; las ciudades pequeñas podrían iniciar esta transición de inmediato y ofrecer a sus habitantes el beneficio de la electromovilidad. Por supuesto que se requiere armar paquetes de financiamiento para estos programas, pero el costo de hacer estas inversiones, según nuestros cálculos, se pagan con los beneficios que tendríamos en los siguientes 20 años y en el futuro.

Camiones eléctricos

Es importante notar que de las ventas mundiales de autobuses en el año 2020, 40 % fueron eléctricos ^[8]. Esta cifra indica que el transporte público en el mundo está transitando hacia la electromovilidad. Claramente, la tendencia hacia la implementación de un transporte público que no contamine durante su tránsito se está promoviendo en muchas ciudades en el mundo. Seguramente, muchas personas estamos convencidas de que la salud es una de las prioridades inobjetable para toda sociedad, y el evitar que en las ciudades el transporte público emita gases tóxicos es una de las acciones que contribuyen a esto.



Ante estos escenarios, la demanda de combustibles para el transporte público o privado se mantendrá en los mismos 45 millones de barriles por día durante los próximos 10 años, es decir, no aumentará en esta década. Sin embargo, caerá a 37 o 22 millones de barriles por día en 20 años, es decir, caerá el 20 o 50 % ^[10]. Esto también es un llamado para la industria automotriz mexicana, que requiere migrar hacia la fabricación de partes para la electromovilidad.

Otra vertiente que también hemos explorado en el IER-UNAM es la modificación de los modos de transporte en pequeñas poblaciones, como son los pueblos mágicos o tradicionales. En este tipo de poblaciones, la movilidad se hace con mototaxis; así que en el año 2018 ^[11] realizamos una evaluación técnica y económica para sustituir las motocicletas en el pueblo de Xoxocotla, Morelos. Se propuso también un diseño sencillo compuesto de una motocicleta eléctrica que jalaba una carroza con paneles fotovoltaicos que, además de cargar la batería, daba sombra a las personas que viajaban en ella. Los resultados fueron alentadores.

Los mejores medios de transporte

El transporte a pie o en bicicleta contribuye doblemente al bienestar social, dado que evita las emisiones de gases nocivos, al mismo tiempo que promueve la actividad física de las personas. Sin embargo, en las grandes ciudades, las actividades económicas no están ubicadas cerca de las zonas habitacionales y esto nos obliga a invertir parte de nuestro día en el transporte. Pero, en ciudades medianas o pequeñas los trayectos suelen ser menores, por lo que es fundamental el instalar la infraestructura que permita una sana convivencia entre el transporte público eléctrico y el no motorizado.

Estas circunstancias nos hacen pensar en un transporte sustentable, donde la movilidad esté enfocada en las personas y no en los camiones o automóviles. Debemos impulsar medidas inmediatas y acciones que conduzcan a resolver los problemas asociados con las baterías que se utilizan, el desgaste de llantas y la demanda de electricidad, que son algunos de los problemas que plantea la electromovilidad. Para resolver estos problemas, se requiere profundizar en el conocimiento técnico, desarrollar soluciones e innovación tanto ingenieril como social. Claramente, el desarrollo de estas soluciones cae dentro del campo de la ingeniería en energías renovables. ☀️

Nota

El autor utilizó la inteligencia artificial leonardo.ai para crear las imágenes de las página 8 y 9 fueron con los siguientes prompts:

1. A traditional electric tuk tuk in Mexico, adorned with a photovoltaic panel on its roof, propels itself towards a Mystical Town. This vibrant image, possibly a photograph, captures the essence of sustainable transportation in a whimsical setting. The tuk tuk gleams with a glossy Catrina's motives, its electric motor humming softly as it zips through colorful streets. Every detail, from the intricate design of the solar panel to the intricate patterns on the vehicle, is richly depicted in exquisite detail with resemblance to traditional Mexican vehicles.
2. A sleek, futuristic electric bus in a bustling battery swapping station, exchanging its battery seamlessly with a robotic arm from above. This exquisite painting captures the scene in vivid detail: the gleaming metallic surfaces of the bus reflecting the bright lights, the intricate mechanical arm delicately maneuvering the battery, and the busy workers in the background. Each element is depicted with such precision and realism that it feels like you could reach out and touch them. The overall atmosphere is one of innovation and efficiency, making the viewer marvel at the advanced technology on display.

Referencias

- [1] Secretaría de Energía. 2021. *Balance Nacional de Energía 2020*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707654/BALANCE_NACIONAL_ENERGIA_0403.pdf
- [2] Lárraga, M. E., del Río, J. A., & Schadschneider, A. (2004). New kind of phase separation in a CA traffic model with anticipation. *J. Phys. A: Math. Gen.*, 37, 3769–3782. DOI: <https://doi.org/10.1088/0305-4470/37/12/004>
- [3] Castro González, L., Lárraga, M. E., & del Río, J. A. (2019). Modeling an urban highway: A statistical physics point of view for a nonphysical system. *Revista Mexicana de Física E*, 65(1), 114–127. <https://doi.org/10.31349/revmexfise.65.114>
- [4] Union of Concerned Scientists. 2015. *Cleaner cars from cradle to grave: How electric cars beat gasoline cars on lifetime global warming emissions*. <https://www.ucsusa.org/resources/cleaner-cars-cradle-grave>
- [5] J.T. Sánchez, J.A. del Río. Mayo 2020. Electromovilidad como respuesta sustentable a la crisis económica del Covid-19. *Energía Hoy*. 177. pp. 26. https://energiahoy.com/wp-content/uploads/2020/05/EH177_MAYOok-1.pdf
- [6] Sánchez JT, del Río JA, Sánchez A. 2022. Economic feasibility analysis for an electric public transportation system: Two cases of study in medium-sized cities in Mexico. *PLoS ONE* 17(8): e0272363. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272363>
- [7] Li, C., Cao, Y., Zhang, M. et al. 2015. Hidden Benefits of Electric Vehicles for Addressing Climate Change. *Sci Rep*. 5, 9213. <https://doi.org/10.1038/srep09213>
- [8] Sánchez Silva, José Tomás; Correa Solis, Natalia; Godinez Torres, Eduardo Sebastián; Cedano Villavicencio, Karla Graciela; del Rio Portilla, Jesús Antonio. 2024. *Intercambio de baterías: elemento clave para una electromovilidad sustentable*. Instituto de Energías Renovables. DOI: <https://doi.org/10.22201/ier.9786073091602e.2024>
- [9] Correa Solis, Natalia; Cedano Villavicencio, Karla Graciela; del Río Portilla, Jesús Antonio. 2024. *Intercambio de baterías, elemento clave para una electromovilidad sustentable: Recomendaciones de política*. Instituto de Energías Renovables. DOI: <https://doi.org/10.22201/cemru.9786073099967e.2024>
- [10] BloombergNEF. (2024). *Electric Vehicle Outlook 2024*. Bloomberg Finance L.P. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>
- [11] Lárraga Mojena, M. E. (2017). *Modelado de peatones en pasillos y esquinas: Un enfoque de campo medio*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://132.248.9.195/ptd2018/enero/0768815/0768815.pdf>

Más allá del color

Azucena Silva Cortes
Anabel López Ortiz

¿Alguna vez te has preguntado cómo es posible disfrutar de algunos alimentos como el plátano o el mango deshidratados o del agua de la flor Jamaica, incluso cuando hayan pasado meses después de su cosecha? Esto es posible gracias a la técnica del secado de alimentos que consiste en deshidratar o disminuir la cantidad de agua presente en estos ^[1].

Reto del secado

Secar no significa únicamente eliminar agua. Para obtener alimentos de calidad es necesario conservar su aroma, sabor, color y nutrientes. Los pigmentos naturales, como las clorofilas (el verde del cilantro, por ejemplo), carotenoides (el naranja de la zanahoria) y antocianinas (el rojo-morado de las moras), son responsables del color característico de frutas y verduras, pero también son muy sensibles a la temperatura, la luz y el oxígeno. Durante el proceso de secado, si no se controlan las condiciones, estos compuestos pueden degradarse, lo que afecta el color, el valor nutricional y el aporte bioactivo del producto final.

Colores que protegen

Además de aportar atractivo visual, los pigmentos y otros biocompuestos poseen un importante valor funcional. Actúan como antioxidantes que protegen a las células del daño oxidativo, retrasan procesos de envejecimiento e incluso ayudan a prevenir mutaciones en el ADN ^[2]. También son fuente de vitaminas esenciales, como la provitamina A, proveniente de los carotenoides presentes en la zanahoria, los cuales cumplen un papel clave en la visión y en el sistema inmunológico ^[3].

Acerca de los pigmentos en tus alimentos

En las últimas décadas, se han desarrollado distintos materiales y técnicas de recubrimiento para los secadores de alimentos. Sin embargo, todavía son pocos los estudios que se enfocan en la retención de pigmentos naturales como clorofilas y carotenoides, responsables de los colores verdes, amarillos y anaranjados. Estos pigmentos se encuentran dentro de los cloroplastos, pequeños orgánulos celulares que funcionan como «antenas solares», captando la energía de la luz (Figura 1). La clorofila «a» absorbe luz de entre 430 y 463 nanómetros, mientras que la clorofila «b» lo hace entre 455 y 644 nanómetros (para convertir esta cantidad a metros, se tiene que un nanómetro equivale a 0.000000001 m). Los carotenoides, por su parte, absorben en el rango de 420 a 460 nanómetros. Todo ocurre en la región del espectro visible, la misma luz que perciben nuestros ojos. Esta capacidad de absorber luz hace posible la fotosíntesis, proceso vital para la vida en la Tierra. Un ejemplo cotidiano es cuando hervimos chícharos o habas: ese verde brillante se torna café-oliva debido a los cambios en la estructura de la clorofila.

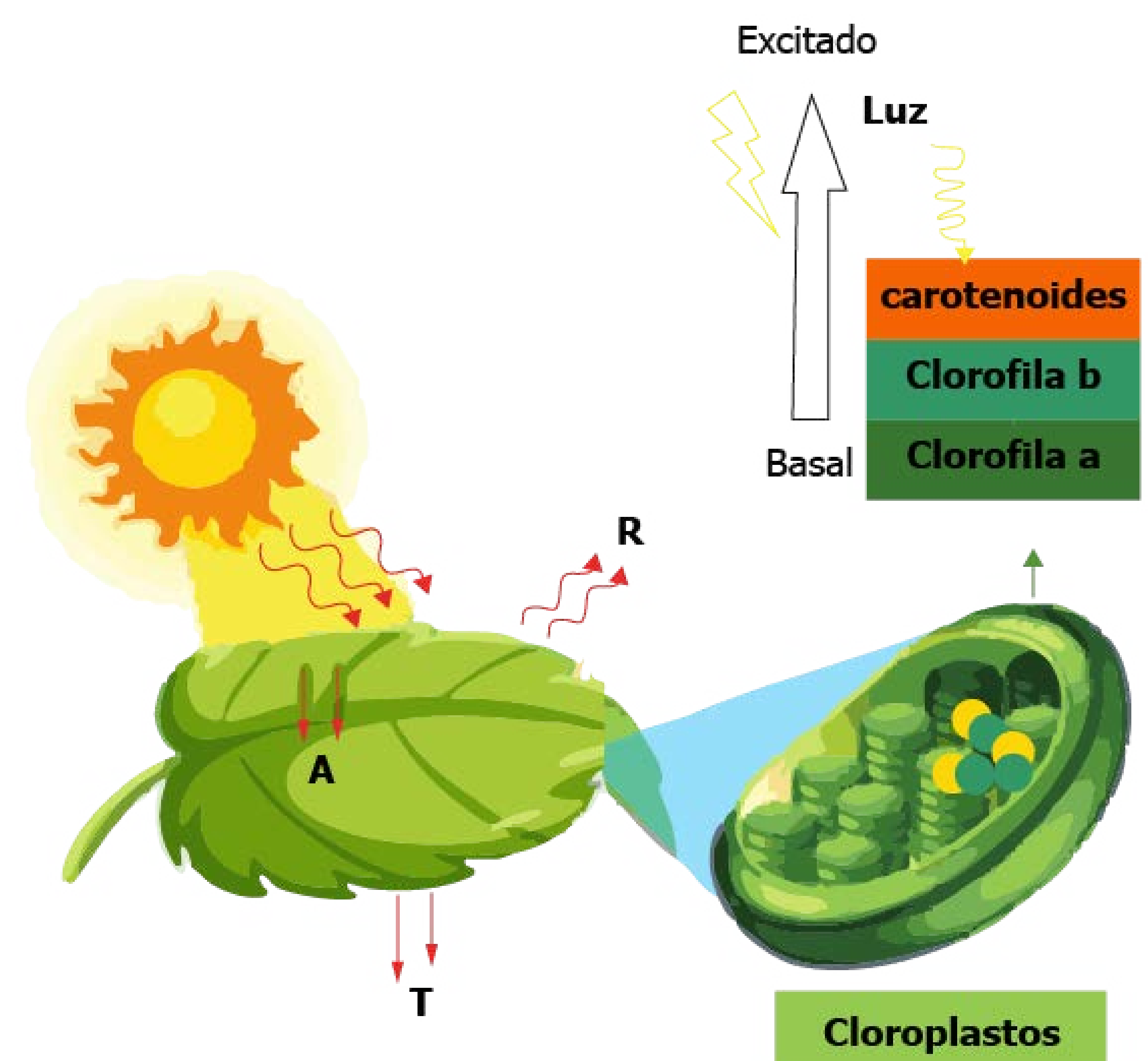


Figura 1. Esquema de un cloroplasto mostrando los pigmentos fotosintéticos (clorofilas y carotenoides) responsables de la captación de energía solar. Propiedades ópticas: R: reflectancia; T: transmitancia, y A: absorbancia).

La tecnología del secado en acción

La ciencia y la tecnología del secado buscan deshidratar los alimentos de manera eficiente, sostenible y con el menor gasto de energía posible. Para lograrlo, en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM, nuestro grupo de trabajo ha realizado distintas modificaciones en los deshidratadores solares para mejorarlos. Algunas de estas mejoras incluyen cambios en la geometría del secador, el empleo de diferentes materiales de recubrimiento que permitan controlar el tipo e intensidad de la luz que incide en la cámara de secado y los alimentos. Cada una de estas modificaciones tiene un mismo objetivo: conservar la mayor cantidad posible de nutrientes y pigmentos en los alimentos, de manera que no solo mantengan su color y sabor, sino también sus beneficios para la salud.

Innovación tecnológica: influencia de los materiales de recubrimiento

En los secadores solares, las cubiertas suelen estar hechas de plásticos transparentes como polietileno, policarbonato, acrílico o incluso de vidrio. Estos materiales permiten el paso de la luz hacia los alimentos, pero no toda la luz es igual: puede ser ultravioleta (UV), visible (Vis) o infrarroja (IR), y cada una aporta distinta cantidad de energía. La forma en que los alimentos reciben esa luz depende de las propiedades ópticas de la cubierta: la absorbancia (A) nos indica cuánta luz absorbe el material; la transmitancia (T), cuánta luz deja pasar, y la reflectancia (R), la cantidad de luz que refleja. Estas características son muy importantes porque ayudan a elegir el material más adecuado para proteger los pigmentos y nutrientes sensibles durante el secado (ver Figura 1). Las investigaciones de nuestro grupo de trabajo sugieren que la exposición a la luz ultravioleta y azul por tiempos prolongados degrada la apariencia visual del producto. Por ello, propusimos la implementación de películas espectralmente selectivas, las cuales actúan como filtro solar durante el secado^[4]. La importancia de su uso radica en que ayudan a conservar los pigmentos, el color y el

valor nutricional de los alimentos, además de mejorar la eficiencia del secado.

En investigaciones más recientes, hemos demostrado que el tipo de luz transmitida tiene un impacto directo en la estabilidad de los pigmentos; por ejemplo, la luz verde favorece la retención de clorofilas y carotenoides, mientras que la luz roja resulta más adecuada para preservar antocianinas^[5].

En otras palabras, elegir bien la cubierta de un secador solar es como elegir unos lentes adecuados para cada ocasión: algunos protegen mejor de la intensidad de la luz del sol, otros resaltan colores, y otros ayudan a cuidar la vista. En los alimentos, la «lente» correcta puede marcar la diferencia entre un producto con colores llamativos, nutritivos y con capacidad bioactiva o uno apagado, con menor valor nutricional y sin capacidad bioactiva. Un ejemplo de estos materiales se muestra en la Figura 2. Estos materiales son capaces de filtrar diferentes rangos de luz para proteger los pigmentos sensibles durante el secado.

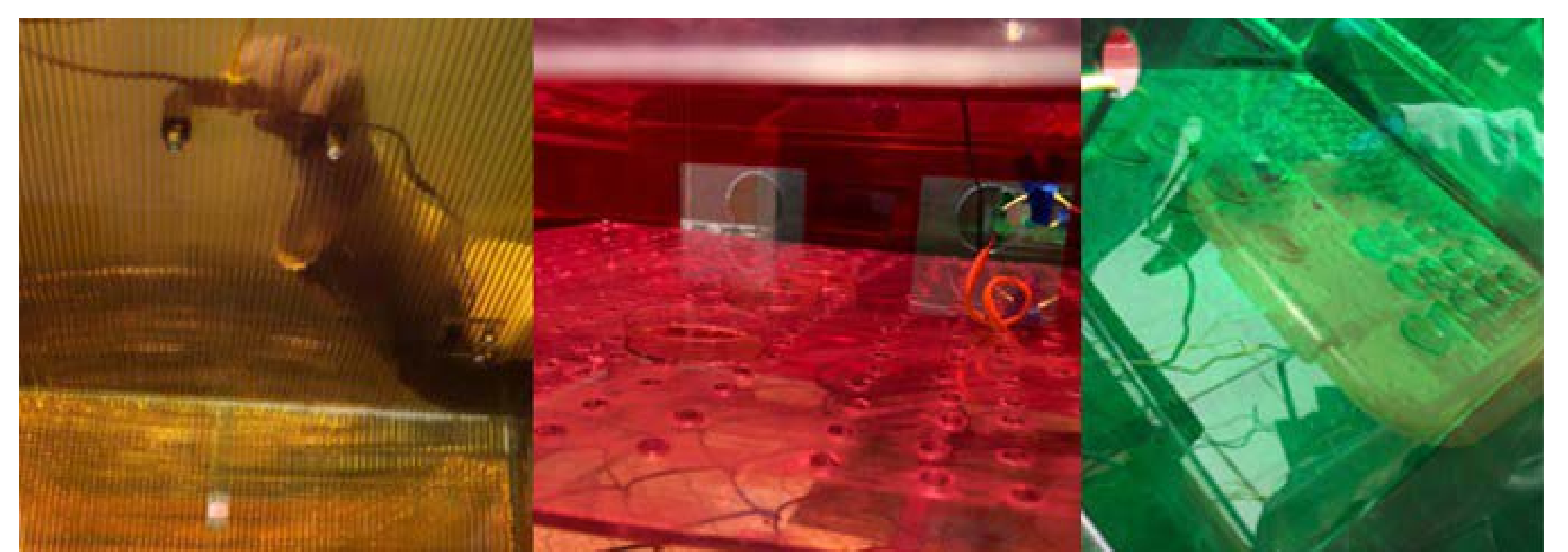


Figura 2. Recubrimientos de secadores solares espectralmente selectivos: a) recubrimiento ámbar, b) recubrimiento rojo y c) recubrimiento verde.

La importancia de conservar estos pigmentos se puede apreciar en la Figura 3, donde se muestra un ejemplo visual de la retención de color en alimentos deshidratados en secadores solares contruidos con películas espectralmente selectivas (Patente MX/a/2022/013811) que permiten la retención de clorofilas y betalainas: pitahaya, aloe vera y damiana californiana.



Figura 3. Retención de color de alimentos deshidratados: -a) pitahaya, b) aloe vera y c) damiana californiana- en secador solar de tipo invernadero con material de recubrimiento espectralmente selectivo.

Más que sabor y color, ciencia en tu mesa

Los pigmentos como la clorofila, los carotenoides y las antocianinas nos muestran que detrás del color de los alimentos hay compuestos que tienen una actividad biológica favorable en la salud humana. La investigación en nuevos materiales de recubrimiento y en el diseño de secadores solares abre la posibilidad de lograr un secado más eficiente, sostenible y saludable, capaz de mantener los colores vivos y los nutrientes esenciales. La próxima vez que disfrutes de un mango deshidratado, un puñado de moras secas o un vaso de agua de jamaica, recuerda que no solo estás probando sabor, sino también el resultado de años de ciencia y tecnología que trabajan para llevar a tu mesa alimentos más naturales y con beneficios para tu bienestar. 🌱

Referencias

- [1] Santamaria, Edgar M.; Espitia-Lopez, José V.; Marriaga-Barroso, Angie P., Paez-Logreira, Heyder D., Sistema de control y monitoreo para el proceso de secado de alimentos: caso polen apícola. *Información tecnológica*, 2022, vol.33, n.3, pp.137-148. ISSN 0718-0764. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000300137>.
- [2] Sánchez, Humberto Hernández. Antioxidantes en alimentos. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 2003, vol. 4, no 4.
- [3] Lorenzana Rodríguez, Sofía, et al. Funciones de la vitamina A y disfunciones relacionadas con su carencia. 2020.
- [4] Nair, P. K., Espinosa-Santana, A. L., Guerrero-Martínez, L., López-Ortiz, A. Y Nair, M. T. S. 2020. Prospects toward UV-blue filtered solar drying of agricultural farm produce using chemically deposited copper chalcogenide thin films on cellular polycarbonate. *Solar Energy* vol. 203, págs. 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.04.012>.
- [5] López-Ortiz, A., Silva-Cortés, A., Velázquez, J. A., Balbuena, A., Escobar, J., Hernández-Díaz, W. N., Del Río, J. A. 2025. Light modulation through spectrally selective materials in solar dryers for the retention of bio-compounds, *Drying Technology*, vol. 43, n.º 11-12, págs. 1799-1815. <https://doi.org/10.1080/07373937.2025.2528880>.



Un futuro forjado en hierro

Luis Ángel Arellanes Mendoza

Imagina que pasan de las seis de la mañana y te alistás para ir a la preparatoria. Tienes tu uniforme puesto y un gran desayuno en el estómago, y ahora te toca la parte más complicada de la mañana: consumir una pastilla de color marrón de un característico olor nauseabundo que te recuerda al metal, a un metal oxidado y asqueroso. Puede que ya te haya pasado o quizás no, pero seguramente conoces a alguien que lo ha hecho para evitar la insuficiencia del hierro. Pero ¿acaso no es el hierro el metal del que están hechos los clavos, varillas y herramientas? En este momento puede que sea de tu conocimiento que el hierro es un elemento indispensable para tu sangre^[1]; pero probablemente no imaginas que el hierro tiene muchísimas más aplicaciones y que podría formar parte de una nueva generación de tecnologías de producción y almacenamiento de energía limpia que hoy en día pasan desapercibidas y que podrían definir o moldear la sociedad en la que vives.

El acero y la generación de energía

Por lo cotidiano que resulta, puede que seas consciente (o no) de que el hierro está presente en todos lados. Por ejemplo, el hierro es el principal y mayor componente del acero, una aleación metálica que se forma al mezclar el hierro con pequeñas cantidades de carbono (al menos en 2 %) en una mezcla homogénea de los elementos obtenidos por fundición, y que tiene también pequeñas cantidades de fósforo, manganeso, silicio y azufre^[2]. Puedes reconocerlo fácilmente porque es el metal al que se le suelen pegar los imanes (que en su mayoría también suelen estar hechos con hierro). Si vamos directo a la industria de producción de energía verde, el acero ya tiene una presencia bien establecida en el área. Este material es el componente principal del que están hechos los refuerzos de concreto de las torres, los engranes, los rotores y las piezas

mecánicas de los aerogeneradores, así como las turbinas hidroeléctricas de las presas, la estructura de montaje de los paneles solares, los intercambiadores de calor geotérmicos o los componentes de los reactores de biomasa^[3]. El acero es un material muy resistente y duradero, por eso se ocupa también en puentes, barcos, edificios o automóviles. Pero no es un material invulnerable. Si se requiere necesariamente que sea resistente a las condiciones más corrosivas, se le cubre con un material protector o se le agrega cromo (arriba de 10.5%) y se vuelve inoxidable^[2]. Este es el motivo por el que el acero inoxidable se usa en el interior de termos, en la pesada olla exprés que probablemente tienes en tu casa, los cubiertos, cuchillos o en cosas tan sencillas como los aretes y *piercings* que quizás uses. Se utiliza en tan diferentes aplicaciones que existen más de 3500 grados de acero y 200 tipos de acero inoxidable^[2].

Como todo el acero está hecho a partir de hierro, resulta en un elemento imprescindible para las tecnologías de energía renovable que tanto se necesitan para la transición energética. Además, las energías renovables como la energía solar y eólica tienen el problema de que carecen de mecanismos eficaces para almacenar energía y esto en gran parte les impide expandirse. Curiosamente, el hierro podría aportar soluciones a esta situación.

Baterías de óxido de hierro o hierro-aire

A continuación te cuento de una de sus aplicaciones en baterías. Quizás, alguna vez habrás notado que, si el hierro o el acero se dejan expuestos a la humedad y al aire, el oxígeno (O_2) del ambiente puede reaccionar con el metal y este comienza a transformarse en un sarro o polvo rojizo. Resulta que el óxido que tanto se quiere evitar en los utensilios o artefactos metálicos libera una gran cantidad de energía cuando se forma, solo que no se percibe porque el proceso normalmente sucede en pequeñas proporciones o de manera muy lenta; pero se hace evidente bajo ciertas circunstancias. Cuando se enciende una fibra delgada de alambre y se observan pequeños destellos anaranjados-rojizos recorrer el material, estamos viendo una manifestación de

esa oxidación; en cambio, si se hace con oxígeno líquido, la fibra liberará toda la energía tan rápido ¡que será capaz de derretir contenedores metálicos^[3]! Esto llevó a algunas personas a cuestionarse:

¿podrían el metal y el aire ser utilizados para obtener energía?

La respuesta a esa pregunta resultó en un «sí», puede formarse una batería con estos compuestos, pero como el aire se toma de los alrededores, esta batería se compone principalmente del hierro y el electrolito (un compuesto con la capacidad de conducir electricidad utilizando iones, como el agua cuando se disuelve sal de mesa en ella, sosa cáustica o bicarbonato de sodio en ella). De esta manera la energía se extrae cuando el dispositivo absorbe oxígeno del aire a través de un material bien diseñado que deja pasar el aire, pero no deja salir el agua. Después, el metal transfiere sus electrones por un circuito externo y se convierte en sarro de manera controlada cuando el oxígeno llega al metal a través de los iones del electrolito^{[4][5][6]}. Por el contrario, la energía se recupera convirtiendo el sarro en metal y liberando el oxígeno al exterior durante el proceso de carga o sustituyendo el óxido por un nuevo paquete de metal. ¿Puedes imaginar un cacharro de metal que libera energía cuando «inhala» aire y guarda energía al «exhalarlo»?

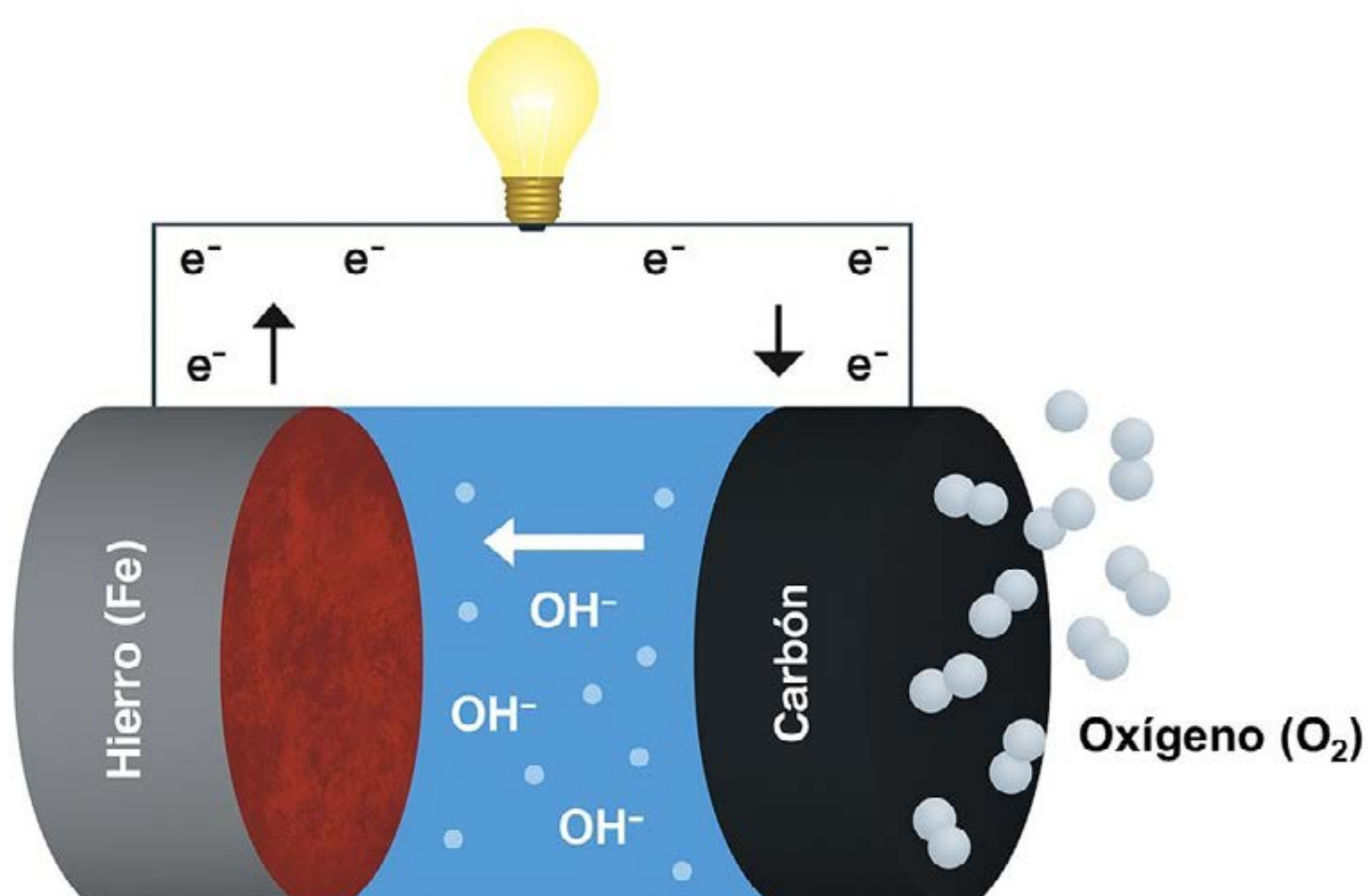


Figura 1. Representación esquemática de una batería hierro-aire. Las flechas indican el funcionamiento en descarga. Para el funcionamiento en carga, la dirección de las flechas se invierte. Editada con el asistente virtual ChatGPT [Se proporcionó una imagen y se pidió la indicación: “¿Puedes volver esta imagen mas profesional?”]. El tamaño del electrolito y el carbón fueron exagerados por propósitos didácticos.

Una batería de hierro-aire, se estima que podría tener una densidad de energía máxima de 764 Wh/kg^[5]. Además de guardar mucha energía y sobre todo ser potencialmente más baratas, esta clase de baterías con hierro también son más seguras, ya que el riesgo de cortocircuito o incendio es prácticamente nulo. El detalle se encuentra en que para que estas baterías sean comerciales necesitan mejorar su eficiencia (la cantidad de energía de salida que se utiliza en trabajo útil, comúnmente expresado como porcentaje), ya que tienen considerables pérdidas de energía por calentamiento que no es aprovechada durante la carga o descarga, y su eficiencia comúnmente alcanza cerca del 50%^[4, 5, 6].

Las ventajas y bondades del hierro

Llegado este punto, una pregunta importante sería ¿por qué utilizar hierro para esto? Para empezar, es un elemento muy abundante^[2], no hay otro metal que utilicemos en tan grandes cantidades. Otra característica favorable es que no es tóxico (es un micronutriente indispensable en el cuerpo)^[1], por lo que su uso y manipulación es segura. También debido a su alta disponibilidad, constante demanda y procesos de extracción bien conocidos, ha resultado ser un material barato (el hierro y el acero son los metales más económicos por kg)^[2]. Si a esto le sumamos que es altamente reciclable^[2], y que ya existe la infraestructura y tecnología para reciclarlo, significa que las tecnologías basadas en hierro, de ser bien implementadas, tendrán un costo bajo y un impacto ambiental y social reducido, lo que promovería su implementación en todos los



estratos de la sociedad. No está de más decir que la sociedad moderna depende de la industria generadora de energía ^[7], por lo que para hacer de esta industria una industria verde, un mundo forjado en hierro no suena tan descabellado si se ofrecen todos estos beneficios. Sin embargo, todavía falta hacer más investigación científica y desarrollo tecnológico para que estos dispositivos dejen el laboratorio y se puedan convertir en dispositivos útiles, resistentes y fáciles de utilizar.

Un futuro quizás no muy lejano

Quizás en un futuro alternativo no tan diferente al tuyo, en donde se invirtió suficiente en investigación y desarrollo y se lograron aprovechar al máximo los beneficios del hierro con el desarrollo de la tecnología competente y funcional, las juventudes toman su cereal fortificado con hierro (o quizás un suplemento de hierro) con una cuchara de acero inoxidable, conectan sus dispositivos electrónicos que contienen acero a la corriente eléctrica que es alimentada desde turbinas de acero inoxidable. Ocupan para sus autos y sus casas baterías de hierro-aire, que son reciclables, inofensivas, muy baratas y completamente amigables con el medio ambiente. 🌱

Figura 2. Monumento Atomium en Bruselas de más de 100 metros de altura. Es una representación de la estructura elemental de un cristal de hierro (ferrita), con una amplificación de 165 mil millones de veces. Fuente: Adobe Stock.



Referencias

- [1] Ana González, Laura Sabio, José M. Domínguez-Vera (2023) “Érase una vez el hierro” en *Anales de la Química de la Real Sociedad Española de Química*, no 2, pp 87-91. Disponible en: <https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/view/1830>
- [2] World Steel Association AISBL (2025) “steelfacts”, disponible en: <https://worldsteel.org/about-steel/facts/steelfacts/#what-is-steel>, 29 de septiembre de 2025.
- [3] E. L. White y J. J. Ward, “IGNITION OF METALS IN OXYGEN”, Art. núm. DMIC224, feb. 1966, Consultado: el 31 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://apps.dtic.mil/sti/html/tr/AD0482073/>
- [4] Dr. R. D. McKerracher, Dr. Carlos Ponce de Leon, Dr. R. G. A. Wills, Dr. A. A. Shah, Prof. Frank C. Walsh (2014) “A Review of the Iron-Air Secondary Battery for Energy Storage” en *ChemPlusChem*, no 80, pp. 323-335. <https://doi.org/10.1002/cplu.201402238>
- [5] H. A. Figueredo-Rodríguez, R. D. McKerracher, M. Insausti, A. Garcia Luis, C. Ponce de León, C. Alegre, V. Baglio, A. S. Arico, and F. C. Walsha (2017) “A Rechargeable, Aqueous Iron Air Battery with Nanostructured Electrodes Capable of High Energy Density Operation” en *Journal of The Electrochemical Society*, no 6. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/2.0711706jes>
- [6] Stanford ENERGY, *Reinventing the Iron-Air Battery for the Electric Grid | Baldwin, Burger | Energy Seminar*, (2021). Consultado: el 31 de octubre de 2025. [En línea Video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=f3u3t9hgAtk>
- [7] “Energía”, World Bank. Consultado: el 31 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview>

Lecturas recomendadas y sitios de interés:

- 1 Royal Society of Chemistry, Fire and Flame 10 - Iron Combustion Products, (el 17 de mayo de 2013). Consultado: el 31 de octubre de 2025. [En línea Video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=xgYqazqg-1U>
- 2 “El oxígeno puede ser aterrador | Desafío elemental 8 | #miwuscienceespañol #miwuscience #shorts - YouTube”. Consultado: el 31 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/>
- 3 “El hierro, un inesperado candidato a combustible sostenible del futuro”, National Geographic España. Consultado: el 31 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/medio-ambiente/combustibles-metalicos-revolucion-energetica-a-vuelta-esquina_20068
- 4 “Propiedades del hierro (Fe)”, National Geographic España. Consultado: el 31 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-hierro-fe_18218
- 5 “Energía”, World Bank. Consultado: el 31 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview>

Conversando sobre «difusión»: el orden del caos

Manira Elena Narvaez Saucedo

¿Has notado cómo el aroma de una taza de café recién hecho termina por perfumar toda la habitación? Este fenómeno cotidiano tiene una explicación científica: la «difusión». Este es un proceso mediante el cual la materia (en este caso, las pequeñas moléculas del aroma del café) se desplaza naturalmente desde una zona de mayor concentración (es decir, el lugar donde hay muchas de estas juntas, como el interior de la taza) hacia zonas de menor concentración (donde hay menos de estas, como el resto del aire de la habitación). Este movimiento no se detiene hasta que las moléculas se han repartido de la forma más uniforme por todo el espacio, buscando un estado de equilibrio (Figura 1). Pero, ¿qué ciencia o estudios están detrás de este análisis?

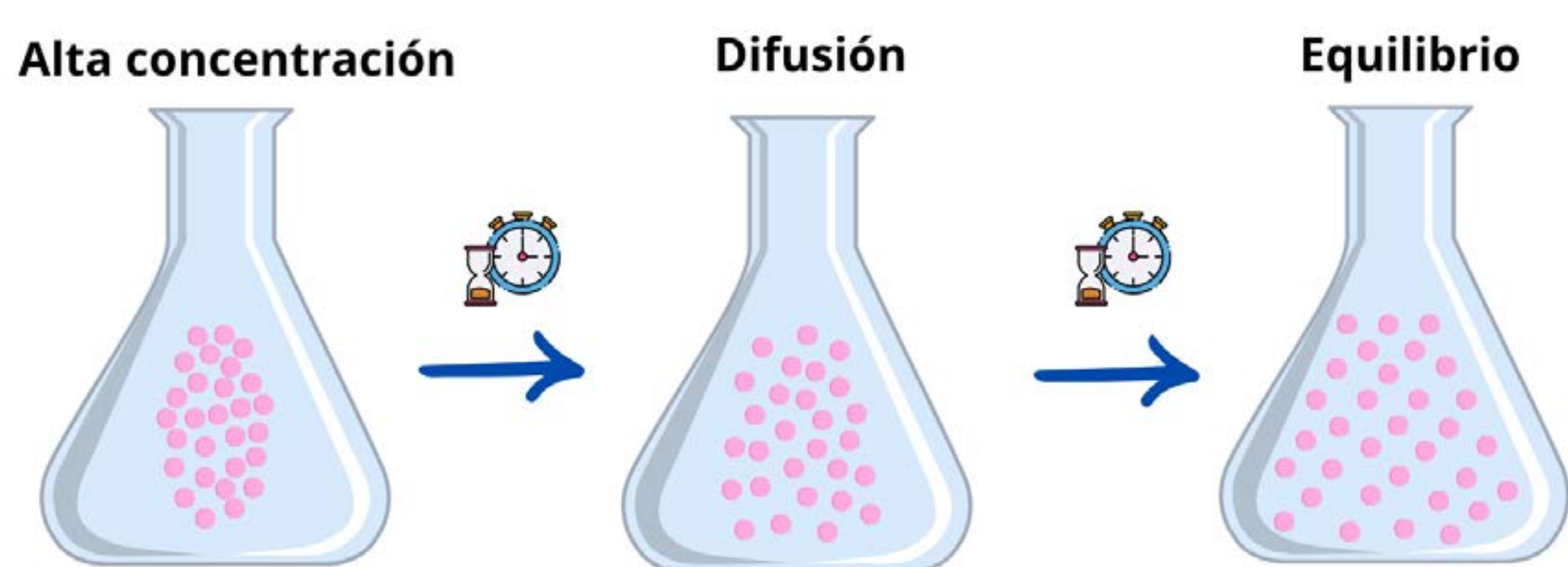
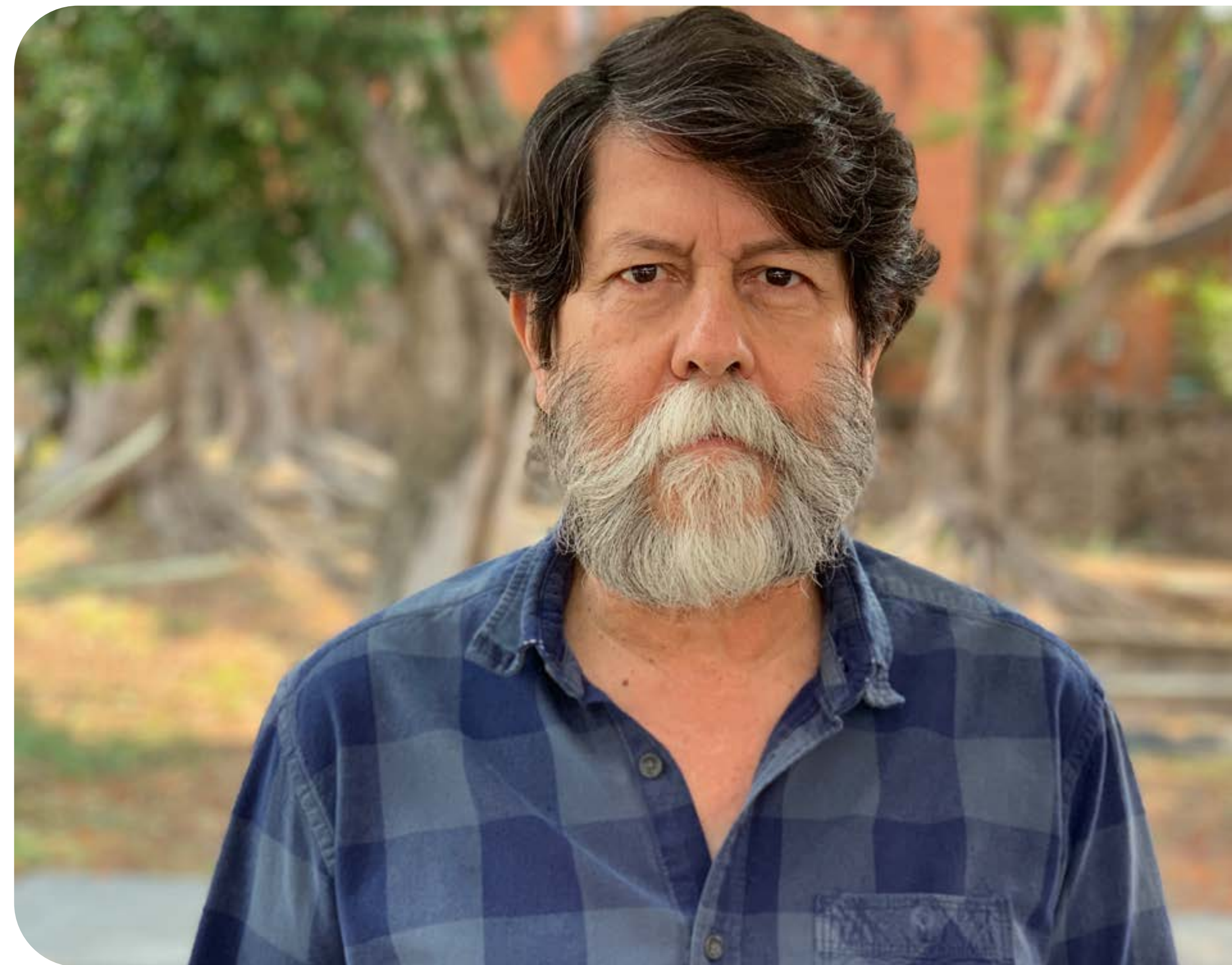


Figura 1. Ilustración de la difusión.

El estudio científico de la difusión comenzó a tomar forma tras la primera revolución industrial. En 1822, Jean-Baptiste Joseph Fourier formuló su ley sobre la conducción del calor, la cual explica cómo la energía térmica se transfiere a través de los sólidos. Poco después, en 1827, Robert Brown, a través de su microscopio, notó que las partículas de polen suspendidas en el agua se movían incesantemente de forma desordenada. Este fenómeno se bautizó como movimiento browniano.

Lo que Brown observó lo describió como caos, movimiento sin patrón; pero esto no



Dr. Eduardo Ramos



Dr. Patricio Valadés

fue formalizado, sino hasta 1855, cuando Adolf Fick le puso matemáticas al proceso. Fick propuso las leyes (hoy, Leyes de Fick) que describen cuantitativamente la difusión. En esencia, sus leyes establecen que cuanto mayor es la diferencia de concentración entre dos zonas, más rápido se mueve la materia. Desde la física hasta la termodinámica moderna, la difusión se ha convertido en un fenómeno clave para entender cómo se comporta la materia. Hoy en día, los científicos y las científicas usan ecuaciones avanzadas y computadoras para entenderla. Para conocer más sobre este fenómeno, conversé con dos expertos en el tema: el Dr. Eduardo Ramos y el Dr. Patricio Valadés, ambos investigadores del Instituto de Energías Renovables de la UNAM (IER-UNAM). En las siguientes líneas te comparto el resultado de esta entrevista.

—¿Qué es la difusión? —pregunté.

—Para mí —explicó el Dr. Eduardo Ramos—, la difusión es, en esencia, un transporte de materia, energía o información a causa de un gradiente.

Para entender la palabra «gradiente» a la que se refiere el Dr. Eduardo, pensemos en una resbaladilla: es la «inclinación» la que provoca que la materia «ruede» naturalmente desde la zona de alta concentración (la cima) hacia la de baja concentración (el final). Pero, ¿qué impulsa este movimiento a nivel fundamental? Esta pregunta se aclara con la respuesta que me dio el Dr. Patricio Valadés sobre la pregunta inicial.

—La difusión es la consecuencia del «desorden molecular» (se trata del resultado visible del movimiento térmico aleatorio y constante de átomos y moléculas). En la medida en que piensas que la realidad está hecha de moléculas y aceptas que todas se mueven de manera desordenada, es evidente que eso va a tener un efecto en escalas mayores —compartió el Dr. Valadés.

Aquí es donde las ideas del Dr. Eduardo y el Dr. Patricio se unen. El «desorden molecular» (un concepto que a menudo se llama caos molecular) es el motor microscópico que causa el gradiente que mencionó el Dr. Ramos. Por estadística pura, este movimiento caótico provoca que las moléculas se muevan desde donde están «apretadas» (gradiente alto) hacia donde hay más espacio, en la «búsqueda» del equilibrio que mencionamos al inicio.

La chispa de la curiosidad: el primer encuentro con la difusión

—¿Recuerdan cuándo se encontraron por primera vez con este fenómeno? —pregunté.

—Sí. Recuerdo que cuando llegaba al salón de clases, donde un rayo de luz se colaba por una ventana, alcanzaba a ver a contraluz partículas de polvo flotar, —rememoró el Dr. Patricio—. Aunque fue hasta la universidad que le di el nombre a la danza de esas partículas que se movían de forma azarosa.

El Dr. Eduardo complementó con una imagen más tangible:

—Un ejemplo contundente de difusión es el aroma de un cerillo recién encendido que, incluso en un cuarto perfectamente quieto y con las ventanas cerradas, termina llegando a nuestra nariz. ¿Cómo es posible que haya llegado la información del lugar en donde se prendió el cerillo a donde está uno?

Él mismo se respondió:

—Esto ocurre debido a que las moléculas que son producto de la combustión se mueven erráticamente al chocar con el aire (movimiento browniano), y la suma de estos pequeños movimientos produce un desplazamiento a una escala mucho mayor que la distancia entre las moléculas, incluso sin una pequeña brisa.

El Dr. Patricio complementó:

—Para mí, las matemáticas son un lenguaje preciso que te da detalles que se les escapan a veces a las palabras. Mientras que las palabras pueden ser ambiguas, una expresión como la de Fourier es precisa. Por eso aprendí a «escribir» la difusión en este lenguaje universal, encontrando en este una claridad que la mera observación no pude ofrecer.



El caos puede predecirse

—Hemos platicado de que la difusión se relaciona con el caos y que se usan modelos para explicar este fenómeno —continuó—. ¿Cuáles son esos modelos?

—Cuando estaba en la universidad, me preguntaba: ¿hasta qué punto un modelo matemático refleja la realidad? —me respondió el Dr. Patricio—. Me costaba aceptar las ecuaciones deterministas, que siempre dan el mismo resultado, porque sentía que ignoraban el «desorden» que veía en cosas simples como el polvo en movimiento. Su perspectiva cambió al conocer los modelos estocásticos.

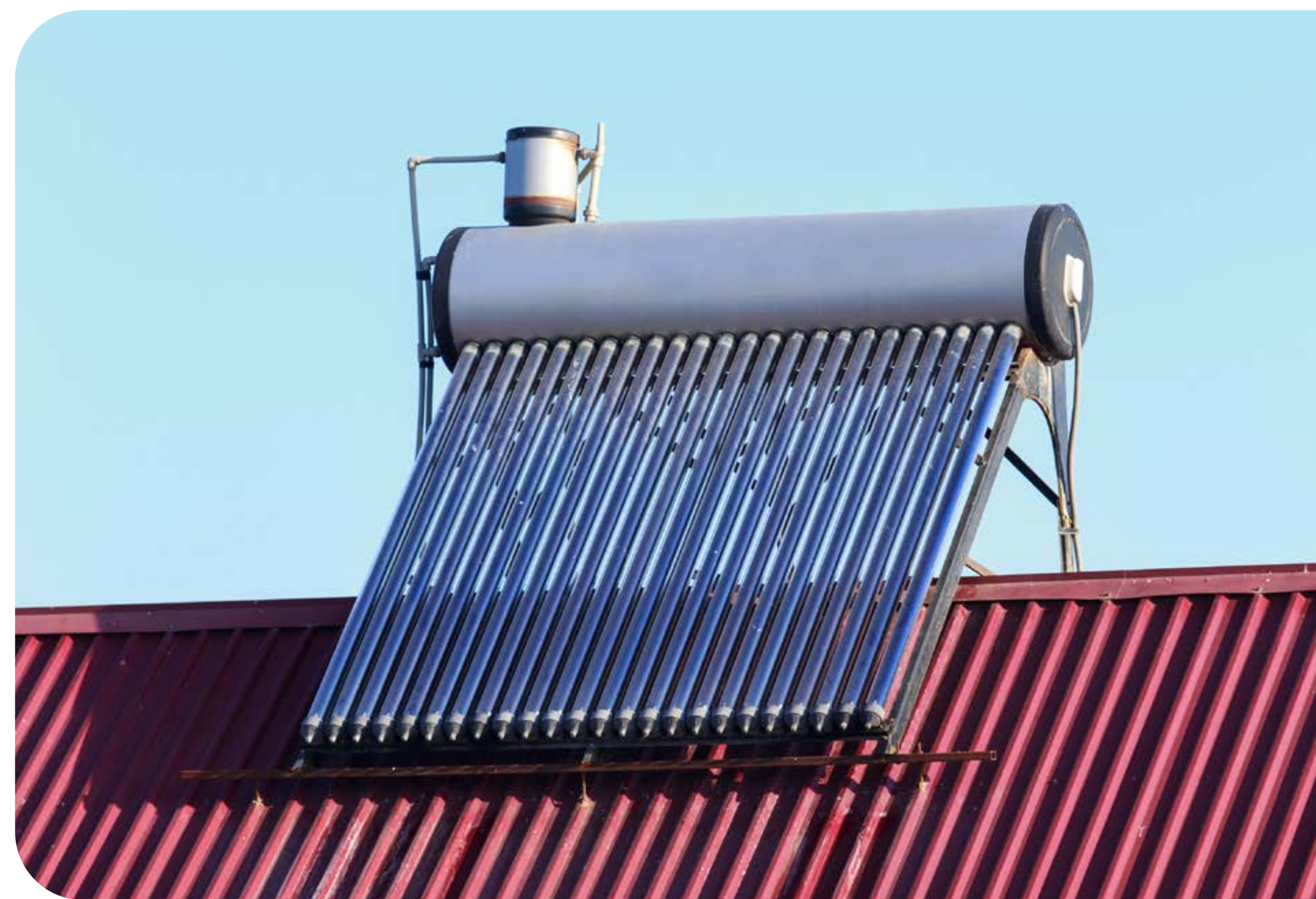
—A diferencia de los deterministas, estos modelos incluyen el azar para predecir un rango de resultados posibles —continuó—. Gracias a estos comprendí que el mundo no es solo orden o caos, sino una mezcla de ambos. Así encontré el puente entre las leyes rígidas de las matemáticas y el comportamiento impredecible del mundo real.

El Dr. Edudardo comentó:

—Joseph Fourier describió cómo se transfiere el calor en un sólido usando ecuaciones deterministas. Él no necesitó ver las moléculas; le bastó con describir el resultado promedio.

Esta conversación me hizo preguntarme: entonces, ¿el caos y el orden se contradicen?

Con seguridad les digo que no. La difusión es el resultado de miles de millones de colisiones aleatorias (caos) que, en promedio, siguen leyes predecibles (orden). Entender cómo se equilibran ciertos procesos es clave para mejorar tecnologías. Por ejemplo, en los calentadores solares, entender cómo se transporta el calor permite hacer ajustes para que funcionen mejor. Otro caso son los sistemas de desalación de agua, ya que conocer cómo se difunden las partículas de sales a través de las membranas ayuda a elegir mejor el tipo de tecnología que se necesita.



La difusión: un fenómeno científico y poético

Después de escuchar a los doctores Eduardo y Patricio, pienso que la difusión no es solo un tema de libros; es la prueba de que el caos molecular (el azar) genera un resultado predecible (el orden). Es el fenómeno que conecta la curiosidad más simple (el polvo danzando en la luz) con las ecuaciones matemáticas y muchas de las tecnologías que ocupamos, como los calentadores solares o los sistemas de desalación.

Esta entrevista me deja claro que la ciencia no se trata solo de fórmulas, sino de una actitud curiosa para observar, tener paciencia para medir y pensamiento ordenado para crear, tal que las ideas como las ecuaciones que describen la realidad generan modelos científicos. Modelos que son herramientas de las que nos valemos para describir la complejidad de la realidad.

La difusión, como la luz, simplemente ocurre: es uno de los motores silenciosos del mundo que nos rodea.

—Como dice el poeta Fernando Pessoa: «La luz vale más que todas las palabras de todos los pensamientos de todos los filósofos y todos los poetas... porque la luz simplemente es» —finalizó el Dr. Patricio. 🌞

Lecturas recomendadas

- Bombal, F. (2022). Joseph Fourier, un matemático ilustrado. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 111(1), 15–28.
- Pessoa, F. (1991). El guardador de rebaños. *Revista mexicana de ciencias políticas y sociales*, 36(146), 16.
- Lederman, L., & Teresi, D. (1996). *La partícula divina*. Grijalbo.
- Prigogine, I. (1994). ¿El fin de la ciencia? D. Fried Schnitman. *Nuevos paradigmas, cultura y subjetividad*, 37–65.

Energía para el futuro. La visión del Dr. José de los Reyes sobre la transición energética

Jorge Chavarría Ornelas

El Dr. José Antonio de los Reyes Heredia es un académico defensor de la transición energética. Su trabajo en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), donde hasta hace poco fue Rector General, ha estado marcado por un compromiso con la investigación en energías renovables y sustentabilidad. Con más de 32 años de trayectoria, ha impulsado proyectos que buscan soluciones reales y aplicables a los problemas energéticos actuales. En esta entrevista, exploramos su visión sobre el presente y el futuro de la energía limpia, sus aportaciones, así como los desafíos que aún quedan por superar.

Entrevistador (E): Doctor de los Reyes, en los últimos años hemos visto avances significativos en energías renovables. Desde su perspectiva, ¿cuáles han sido los logros más destacados en este campo?

De los Reyes (DR): Esencialmente, se ha visto un incremento en el uso de lo que antes se llamaba «microenergías», y que desde hace más de una década ya no son tales, pues tienen una producción relevante en mayores cantidades, sobre todo en Europa y algunos países de Asia: me refiero a las energías eólica, fotovoltaica y mareomotriz. Hoy día es posible identificar muchas unidades eólicas en los países de la Unión Europea, en sus costas y regiones donde se tienen corrientes de aire considerables. Del mismo modo, grandes superficies de generadores fotovoltaicos, conocidos popularmente como «paneles solares», se localizan no solamente sobre



Dr. José Antonio de los Reyes Heredia

extensas naves industriales, sino también sobre instalaciones domésticas. No menos importante ha sido la introducción de unidades que aprovechan la energía mareomotriz y que se instalan, por ejemplo, en antiguas plataformas de explotación petrolera en regiones donde se agotaron los yacimientos *off shore*.

E: Existe la percepción de que las energías renovables siguen siendo costosas o poco confiables. ¿Cuáles son los principales desarrollos tecnológicos que han contribuido a cambiar esta idea?

DR: En especial, se debe mencionar el enorme salto tecnológico en la producción de las unidades fotovoltaicas (paneles solares) cuyos costos han disminuido al menos dos órdenes de magnitud con respecto a sus costos en los años 2000. Desde luego, esto llevó a una producción masificada en países como China y Alemania con la consolidación del mercado para producir electricidad en los hogares a precios competitivos. En paralelo, se debe mencionar las políticas gubernamentales

para introducir este tipo de unidades a nivel industrial y doméstico, a veces con ventajas de índole fiscal o de reducción en los costos por parte de las compañías distribuidoras de electricidad.

En el caso mexicano, en la Ciudad de México (CDMX), con el programa Ciudad Solar se promovió el uso de dispositivos fotovoltaicos. Por ejemplo, la Central de Abasto, ubicada en el oriente de la urbe, cuenta con una superficie extensa de estos paneles. A nivel federal, existen otros conjuntos de paneles fotovoltaicos en estados con alta insolación, como Sonora, donde asociaciones entre productores agrícolas o industriales y los gobiernos llevaron a proponer estructuras de producción-consumo energético.

En relación con la energía derivada del uso de combustibles alternativos provenientes de las denominadas «biomasas», se ha visto un enorme avance para su comercialización y utilización en los últimos 20 años. Los bioaceites, donde tenemos biodiesel o bioturbosinas, se pueden producir a partir de desechos agrícolas o forestales o de plantas no comestibles. Las políticas de uso de estos compuestos han permitido usarlos en combinación con los combustibles tradicionales.

Finalmente, el incremento de la electromovilidad en los diversos sistemas de transporte ha favorecido de manera exponencial el uso de sistemas alternativos de producción de energía. Lo anterior debido a su importancia para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

E: Usted ha trabajado ampliamente en el estudio y desarrollo de biomasa como fuente de energía. ¿Qué papel juega esta tecnología en la transición energética y cuáles son sus principales ventajas y desafíos?

DR: El reto es cómo sustituir el petróleo como materia prima de combustibles o de otros satisfactores que tengan que ver con la industria petroquímica. La biomasa comenzó con la utilización de algunos granos que competían con la alimentación, como el maíz, y se empezó a producir biocombustibles tipo bioetanol o bioaceites derivados de estos compuestos, pero rápidamente se ve-



rificó que no eran sustentables. Hoy en día, la evolución tecnológica se ha dirigido hacia una segunda generación de biocombustibles que no compiten con la alimentación. Por ejemplo, los residuos forrajeros pueden valorizarse mediante procesamiento químico o biológico para obtener bioaceites. Estos, a su vez, pueden procesarse para generar biodiesel o bioturbosinas, lo que permite contar con combustibles alternativos sostenibles.

E: El hidrógeno verde ha sido señalado como una de las grandes promesas energéticas. ¿Qué tan viable es realmente su implementación a gran escala y qué sectores podrían beneficiarse más de esta tecnología?

DR: Uno de los retos en el manejo del hidrógeno siempre ha sido su producción a partir de materias primas que no involucran el petróleo. En particular, el hidrógeno gris, involucra el uso de metano más agua para su producción. Sin embargo, el hidrógeno verde, al producirse a partir del agua, es realmente el sueño industrial para producir hidrógeno en grandes cantidades.

No obstante, la viabilidad económica tiene que ver con su producción, porque los métodos de producción son electrolíticos y en muchos de los casos las tecnologías requieren aún de optimización. Considero que se está ya sobre la ruta a nivel mundial, ya que hay plantas a nivel industrial que producen hidrógeno verde y que pueden utilizarse como energéticos o como materias primas. Desde hace 20 años, se tienen celdas de combustible de hidrógeno a baja escala. En contraste, a nivel industrial se tendría que contar con procesos que lleven a utilizar ese hidrógeno. Por el momento, muchos de los usos del hidrógeno se han limitado a celdas de combustible que sean fijas o móviles, y que están, por ejemplo, utilizándose en las unidades de respaldo de algunas unidades eléctricas. Ahora, habrá que no perder de vista la capacidad de almacenamiento, porque el hidrógeno es un gas que básicamente requiere mucho espacio. Como recordamos en la tragedia del dirigible Hindenburg en Alemania, cuando se usaba en grandes cantidades, el hidrógeno requiere también de cuidados especiales. Este gas involucra riesgos, y como sabemos, el tener instalaciones industriales con alto nivel de riesgo significa también elevar los costos y exponer eventualmente a los operarios de las unidades industriales y también a las poblaciones aledañas, en caso de existir.

E: En la era digital, herramientas como la inteligencia artificial y el internet de las cosas están transformando diversos sectores. ¿Cómo pueden contribuir estas tecnologías a mejorar la eficiencia y la gestión de las energías renovables y qué recomendaciones les daría a quienes desean incursionar en este campo?

DR: Por ejemplo, para producir diferentes compuestos a partir de los bioaceites, se requiere de procesamiento químico por vía catalítica. En estos necesitamos optimizar la

producción de determinados productos que tienen mayor valor agregado. Eso significa que los algoritmos de búsqueda de las mejores rutas de reacción pudieran ser mediados por el uso de inteligencia artificial que permitan un diseño de experimentos más eficiente y lograr productos de mayor valor agregado.

E: Para los jóvenes interesados en la ciencia y la tecnología, ¿qué oportunidades existen en el sector de energías renovables y qué recomendaciones les daría a quienes desean incursionar en este campo?

DR: Considero que deben desarrollar mucho su creatividad, porque lo que se requiere muchas veces no tiene que ver con el procesamiento de los residuos, sino con la logística de recolección de materia prima dispersa geográficamente. Creo que ahí el reto está en cómo optimizar estos procesos de recopilación para abaratar los costos y, entonces a partir de ahí, tener bioaceites y otros biocombustibles que puedan producirse de manera más eficiente en unidades y, eventualmente, que aprovechen las instalaciones que ya tenemos en las refinerías.

E: En sus años de experiencia, ¿cuáles han sido sus principales trabajos en la producción de combustibles alternativos?

DR: Los principales trabajos de mi grupo se han centrado en la valorización de residuos de la industria cañera o de la industria forrajera. Lo que hemos hecho es estudiar, a partir de moléculas modelo presentes en la lignina, procesos hacia la mejora del bioaceite. Estos procesos tienen que ver con la eliminación de compuestos oxigenados que producen alta viscosidad y posible corrosión; y para asemejarse a las características de los combustibles tradicionales, necesitamos mejorar sus propiedades. Para ello, hemos llevado a cabo investigación de nuevos procesos catalíticos a partir de diferentes rutas de reacción, mediadas por catalizadores que desarrollamos en nuestro propio laboratorio y que nos permiten producir, por ejemplo, biodiésel de mejor calidad; o bien, una serie de satisfactores que se pueden usar en la industria petroquímica, como el ácido levulínico u otros ácidos más o furanos de posible valorización en la industria. 🌱

TBT con el carbón activado: podemos recuperar nuestra calidad de agua

Estefanía Duque Brito



Pensar en las personas que nacieron en los 90 no solo es pensar en personas que aplauden y chasquean los dedos cuando bailan o en gente que probablemente no entiende las tendencias de redes sociales o que les da sueño temprano. Quienes han vivido la transición de siglo tienen la fortuna de contar con una perspectiva más integral sobre las profundas transformaciones ocurridas a nivel social, tecnológico y ambiental en el mundo. Así pues, los ahora treintones con el tiempo dejaron de vestir modas que hoy dan *cringe*, prescindieron de grabadoras y *discman*, pasaron de ir los fines de semana a rentar películas, y, sin quererlo, también contribuyeron a dejar en el pasado los paisajes verdes y las aguas limpias que caracterizaron su entorno.

Estas transformaciones al medio ambiente, de las que los *chav@s-adult@s* fueron *testig@s*, tienen que ver con el deterioro a gran escala de los recursos naturales, consecuencia del nivel de desarrollo tecnológico alcanzado y el crecimiento acelerado de la población. Uno de los principales daños causados al ambiente tiene que ver con el descarte no controlado de microcontaminantes y productos químicos a los cuerpos de agua, lo que ha provocado efectos nocivos en la vida acuática y en la salud humana. Algunos ejemplos de estas sustancias

son colorantes, farmacéuticos, iones metálicos (arsénico, plomo, etc.), microplásticos y pesticidas, mismos que son de difícil degradación y cuya acumulación es tóxica para los seres vivos.

Al mismo tiempo, nuestras amistades de los 90 han sido también aquellos que han visto a lo largo de su vida el desarrollo, popularización y aplicabilidad de alternativas amigables con el medio ambiente para el tratamiento de agua. Entre estas tecnologías podemos encontrar al carbón activado que, aunque su utilización data de al menos varios siglos atrás, en México su popularización comienza a inicios de los años 2000. Este *boom* del carbón activado es debido a sus características fisicoquímicas versátiles. Se ha vuelto tan popular que, ¿quién no ha probado alguna vez una mascarilla de carbón activado? Así pues, este tipo de material se ha visto como una alternativa prometedora para el tratamiento de agua.

Adsorción es «la neta del planeta»

No es que las amistades que se dedican a este tema quieran presumir o «ponerle mucha crema a sus tacos»; sin embargo, es una realidad irrefutable que la adsorción es un proceso efectivo que se caracteriza por su fácil

operación y bajos requerimientos en su elaboración. Para adentrarnos más en el tema, la adsorción se define como un proceso que ocurre en la superficie de un sólido, también llamado adsorbente, en este caso, el carbón activado. Al ponerse en un medio líquido o gaseoso, las moléculas de los contaminantes (adsorbato) se acumulan en la superficie adsorbente. De esta forma, es posible remover contaminantes en el agua y volverla nuevamente apta para el consumo humano.

Actualmente, algunas investigadoras e investigadores que rasguñan el tercer piso (o que ya están en este) dedican parte de su vida a mejorar la capacidad de adsorción del carbón activado destinado a este fin. Con este objetivo en mente, «juegan» con las condiciones operativas y experimentales a las que este proceso está sujeto. Algunos de estos factores tienen que ver con el pH, la concentración de los contaminantes disueltos, la temperatura, el tiempo de contacto, el tipo de materia prima y las condiciones empleadas en la producción del carbón activado.

Porque nunca está de más una precuela, hablemos de precursores del carbón activado

Antes de enfocarse completamente en el carbón activado, es necesario pensar en precursores. Es por ello que, tratando de anteponerse a toda costa a la ley de Murphy («si algo puede salir mal, saldrá mal»), los y las perfeccionistas y a veces fatalistas científicos y científicas treintañeras ponen especial atención en las materias primas (precursores) empleadas para la producción de carbón activado. Esta es una de las variables más importantes que influyen en las propiedades estructurales del producto resultante. Aunque hoy en día la mayor parte de los carbones activos comerciales se elaboran de madera, se busca que su utilización vaya en decremento. En su lugar, se ha propuesto a la biomasa lignocelulósica como un recurso clave para la producción de carbón activado.

La biomasa lignocelulósica es un material orgánico proveniente de cualquier planta catalogada como desecho o que no es apta para el consumo humano. Algunos ejemplos de estos materiales son pastos, maleza, desechos provenientes de cultivos agrícolas o ciertos residuos industriales. La principal ventaja de hacer uso de esta biomasa es darle una segunda oportunidad a este tipo de residuos, en lugar de que se dejen a la intemperie para su degradación en tiraderos cercanos.

En la biomasa lignocelulósica podemos encontrar lignina, celulosa y hemicelulosa en mayor proporción; sin embargo, también contiene cantidades pequeñas de cenizas, humedad y otros componentes^[1]. Conociendo información sobre la composición del precursor, los científicos y las científicas pueden seleccionar la biomasa que les puede servir mejor dependiendo de la aplicación que requiera darle.

En este caso, nuestros protagonistas pertenecientes a la tercera década buscan biomasa lignocelulósica con grandes porcentajes de lignina y celulosa. La primera de ellas se convertirá casi en su mayoría en carbón al aplicar alta temperatura ^[2]; y la segunda es la responsable de brindar las propiedades superficiales a este material carbonoso ^[3].

No eres tú, soy yo...

Como dice el dicho: “no todo es color de rosa”, y cuando se trata de experimentos, menos. En este sentido, ya no resultará una novedad para quien me lee saber que siempre quedan cabos sueltos, y en muchas ocasiones resulta complicado saber qué factor influye más que otros durante la adsorción. Por esta razón, además de prestar atención en el precursor aplicado, también es indispensable tomar en cuenta muchas variables más. Centrándose en la etapa de la elaboración de carbón activado (síntesis), las técnicas más utilizadas son activación física y química (Figura 1). En ambos casos se engloban dos procesos complementarios: carbonización y activación.

Quizá, puedas pensar que esta generación de científicos y científicas probablemente lo único que han sintetizado con éxito en su vida es ansiedad, pero no, en algunas ocasiones, también han tenido momentos de «jeureka!». En específico, estas personas saben que la diferencia más significativa entre estas dos formas de activar la biomasa consiste en que en la activación química se lleva a cabo la carbonización y la activación al mismo tiempo; por su parte, en la activación física se realizan esos dos procesos en etapas diferentes. La activación física presenta varias desventajas, tales como las grandes cantidades de energía requeridas para su elaboración. Por otra parte, una indiscutible ventaja que tiene frente a la activación química es el evitar el uso de numerosos litros de agua para la limpieza del carbón activado producido. Hoy en día, gran parte de los trabajos sobre carbón activado utilizan activación química ^[4]. Una vez más, conociendo los pros y los contras de las técnicas anteriormente mencionadas, las personas que investigan este tema pueden seleccionar la forma más adecuada con la que quieran trabajar, o la forma en que querrán ver cómo es que las moléculas ignoran ca-

pítulos enteros de teoría de mecanismos de reacción.



Figura 1. Proceso de obtención del carbón activado.

«Hasta la vista, baby»

Sí, esta es una frase *vintage* que claramente viene a la mente de los y las científicas cuando entienden que los experimentos de adsorción son un éxito. Tal cual, en adsorción se busca eliminar contaminantes del medio acuoso y dejar el recurso lo más apto para el consumo de los seres vivos. ¡Demos un vistazo a cómo es que se llevan a cabo estos procesos! Entremos en los laboratorios de quienes aman el *pop* noventero (aunque algunas personas de esta generación probablemente prefirieron la música emo).

El proceso de eliminación de contaminantes es muy sencillo. Basta con poner en contacto la solución contaminada con algunas decimas de gramos de carbón activado por un cierto periodo de tiempo para poder eliminar grandes cantidades de contaminantes contenidos en la solución (Figura 2). A nivel de laboratorio y bajo condiciones controladas de agitación y pH, se monitorea el decremento de contaminantes con respecto del tiempo mediante mediciones que nos den información sobre la concentración de agentes contaminantes. Con los datos recopilados, sigue la etapa donde especialistas en el campo prueban que, si bien la química es bella, en muchas ocasiones se vuelve complicada a tal punto que lo único que queda es la satisfacción de al menos poder explicar una pequeña parte de lo que ocurre con ella.

Luego de ser utilizado el carbón activado, el material saturado puede ser restaurado al emplear diversos tipos de procesos de regeneración, lo que permite que el carbón activado pueda restaurar la mayoría de sus características adsorbentes por varios ciclos.

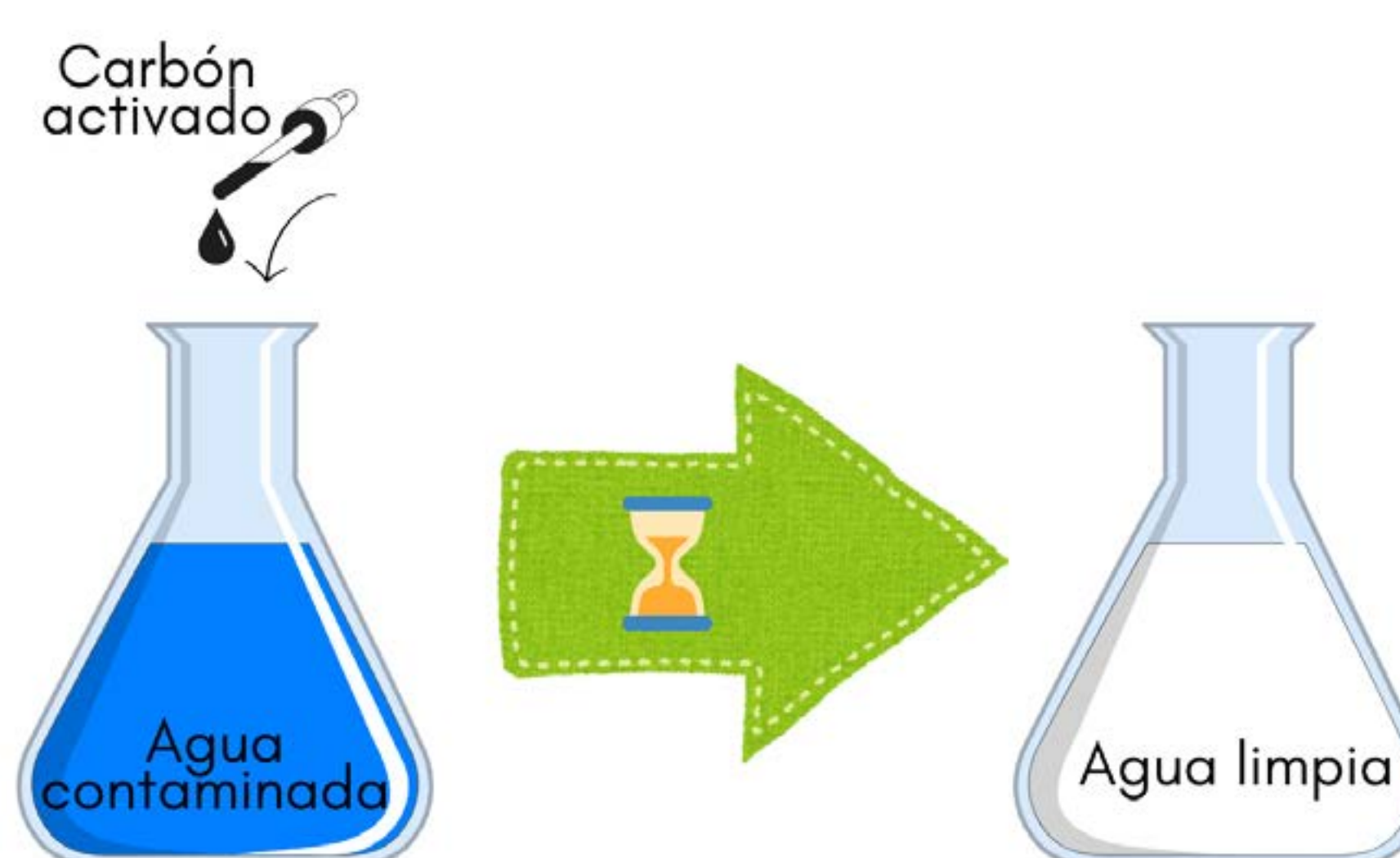


Figura 2. Solución contaminada previa al proceso de adsorción con carbón activado (izquierda). Solución libre de contaminantes luego del proceso de adsorción con carbón activado (derecha).

Por si fuera poco, al agotar los ciclos de regeneración, es posible llevar este mismo material para ser reactivado, lo que genera residuos casi nulos [5].

Basándose en la premisa de que nadie puede prescindir del agua para su supervivencia, merece totalmente la pena invertir más tiempo y esfuerzos en efficientizar y mejorar esta importante tecnología. Esto va desde la búsqueda de precursores con características apropiadas, mejores agentes activantes y efficientizar los procesos para la viabilidad de producción de carbón activo a gran escala. 🌱

Referencias

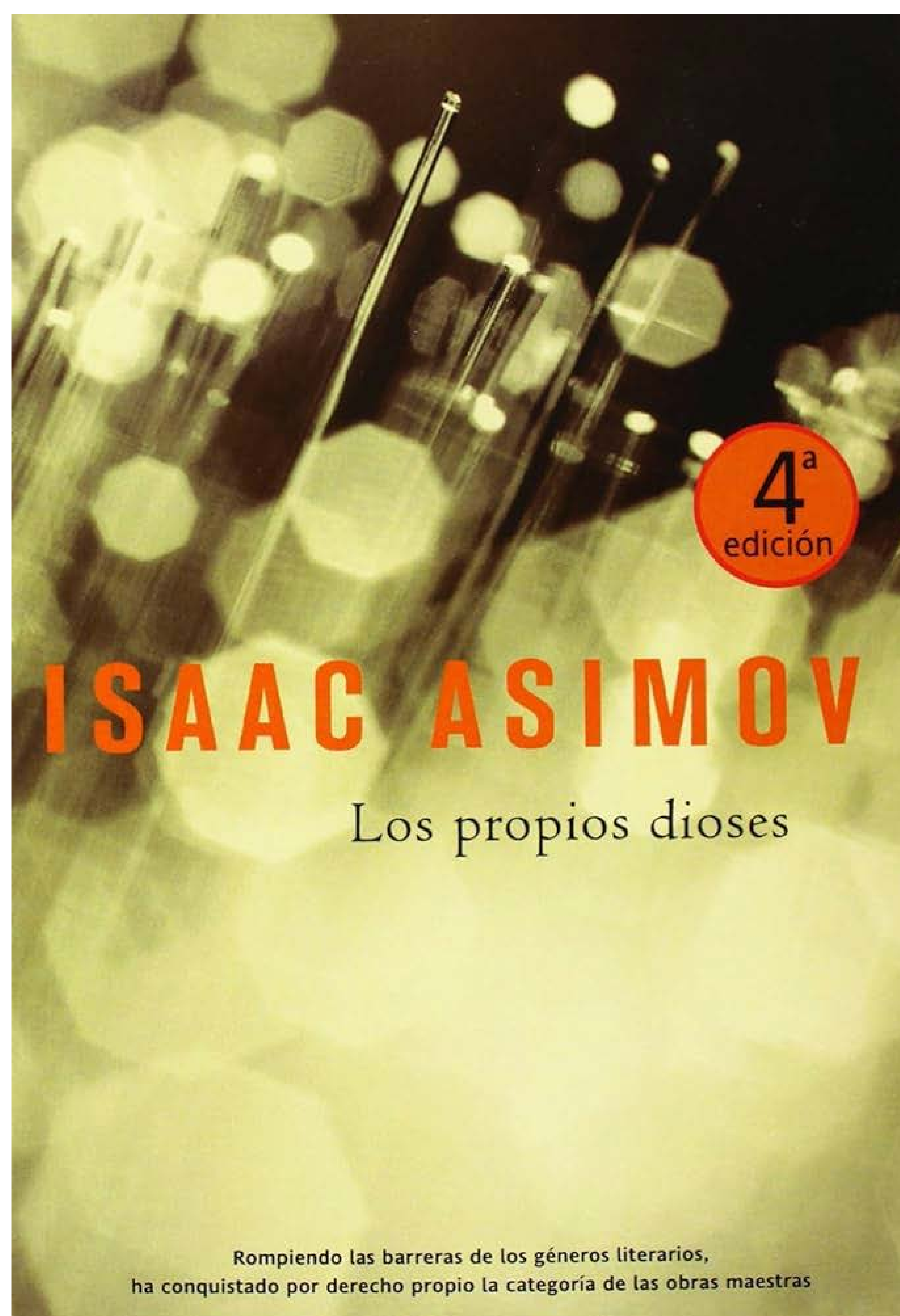
- [1] Lobato-Peralta, D. R., Duque-Brito, E., Ayala-Cortés, A., Arias, D. M., Longoria, A., Cuentas-Gallegos, A. K., Sebastian, P. J., & Okoye, P. U. (2021a). Advances in activated carbon modification, surface heteroatom configuration, reactor strategies, and regeneration methods for enhanced wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105626>
- [2] Muñiz, J., Cuentas-Gallegos, A. K., Robles, M., Guillén-lópez, A., Lobato-Peralta, D. R., & Pascoe-sussoni, J. E. (2022). Lignin-Derived Materials for Supercapacitors. In R. Boddula, A. Khan, A. M. Asiri, & A. E. Kolosov (Eds.), *Handbook of Supercapacitor Materials* (1st ed., pp. 1–51). Wiley-VCH.
- [3] Peng, D., Zhou, G., An, K., Guo, W., Yang, T., Kong, W., Shen, B., Wang, X., Lyu, H., & Ma, J. (2025). Critical review on the adsorption of taste and odor compounds by activated carbon: Influencing factors, modifications methods, mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 507, 160677. <https://doi.org/10.1016/j.CEJ.2025.160677>
- [4] Bergmann, C. P., & Machado, F. M. (2015). *Carbon Nanomaterials as Adsorbents for Environmental and Biological Applications: Vol. Carbon*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-18875-1>
- [5] Lobato-Peralta, D. R., Duque-Brito, E., Ayala-Cortés, A., Arias, D. M., Longoria, A., Cuentas-Gallegos, A. K., Sebastian, P. J., & Okoye, P. U. (2021b). Advances in activated carbon modification, surface heteroatom configuration, reactor strategies, and regeneration methods for enhanced wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105626>

Los propios dioses

Jonathan Ibarra Bahena

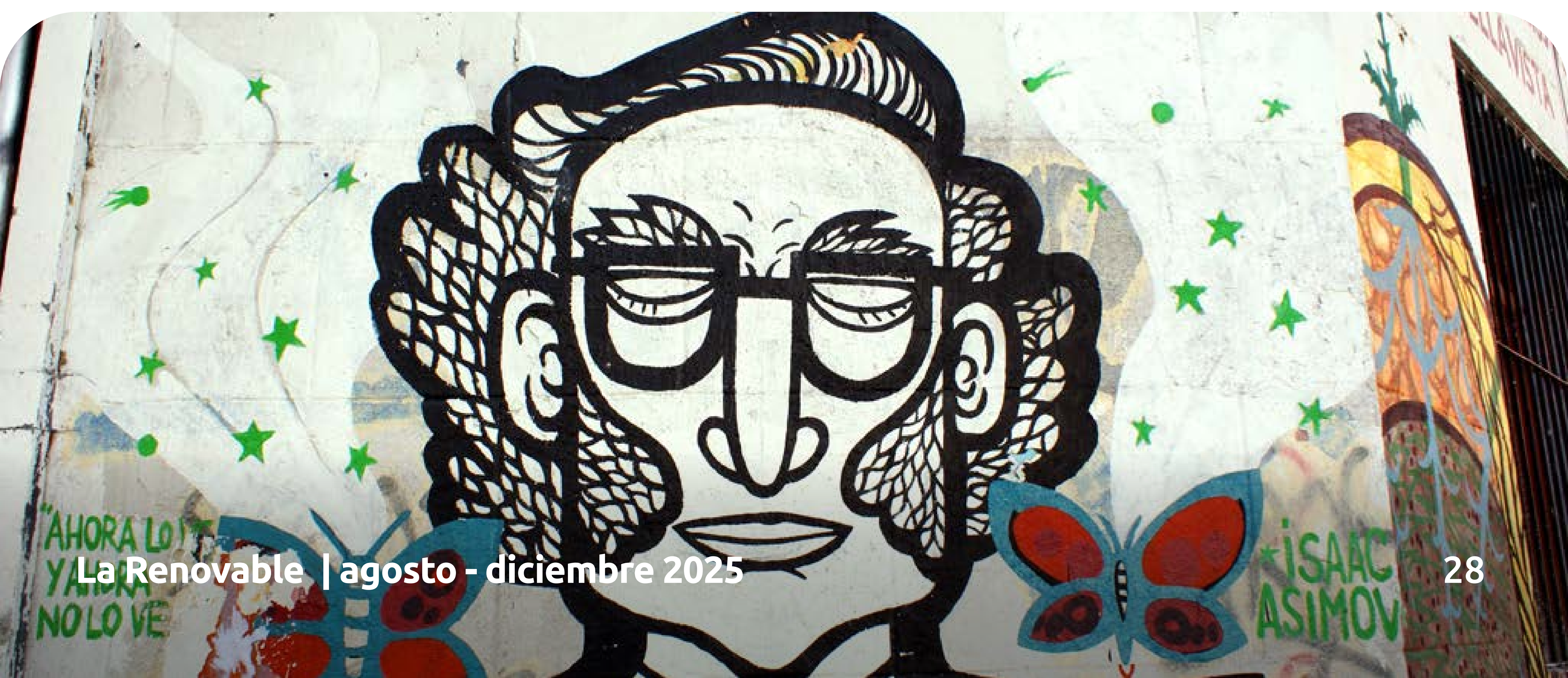
¿Te imaginas que repentinamente apareciera en la Tierra una fuente de energía aparentemente inagotable, limpia y gratuita?

Seguramente buena parte de los problemas de la humanidad se acabarían y las comodidades a las que estamos acostumbrados harían que no pensáramos en las consecuencias de usar desmedidamente la energía, sin embargo, no hay peor trampa que aquella que no se quiere ver. En *Los propios dioses*, el aclamado escritor de ciencia ficción Isaac Asimov nos invita a imaginar un universo distinto al nuestro, con leyes físicas diferentes y habitado por extrañas criaturas que se alimentan directamente de la energía de un sol moribundo. En esta novela, el autor reflexiona sobre los límites que estamos dispuestos a cruzar con tal de conservar las comodidades humanas ligadas al consumo excesivo de energía. ¿Pondríamos en riesgo la existencia del planeta o del mismo universo por ello? El autor explora la idea del contacto con seres de un universo distante y todas las preguntas que ello conlleva: ¿cómo nos comunicaríamos con esos seres? ¿Tienen los mismos objetivos que la humanidad? ¿Qué tan diferente es su tecnología y su conocimiento? Con la maestría literaria que caracteriza a las obras de Isaac



Asimov, la novela está llena de conocimientos de química, física, e incluso explica, de manera amena, algunos conceptos fundamentales de termodinámica. Finalmente, el autor nos motiva a meditar sobre los dilemas éticos y morales asociados a la generación y consumo de la energía; dilemas que, ahora más que nunca, siguen tan vigentes como cuando esta novela se escribió. Ésta es mi recomendación para ustedes, estimad@s lector@s. ¡Que la disfruten! 🌞

Issac Asimov por Brigada Negotrópica. Mural ubicado en Santiago, Chile.





Sé parte de nuestra comunidad

estudiantil



¡Conviértete en agente de cambio hacia un futuro sustentable!

Prestigio académico consolidado

Formación respaldada por la UNAM, institución líder con reconocimiento nacional e internacional.



Oportunidades de movilidad internacional con beca

Programas para estudiar, investigar o colaborar en otras universidades del mundo.



Planta académica multidisciplinaria

Profesorado con experiencia en diversas áreas que enriquece la formación integral del estudiantado.

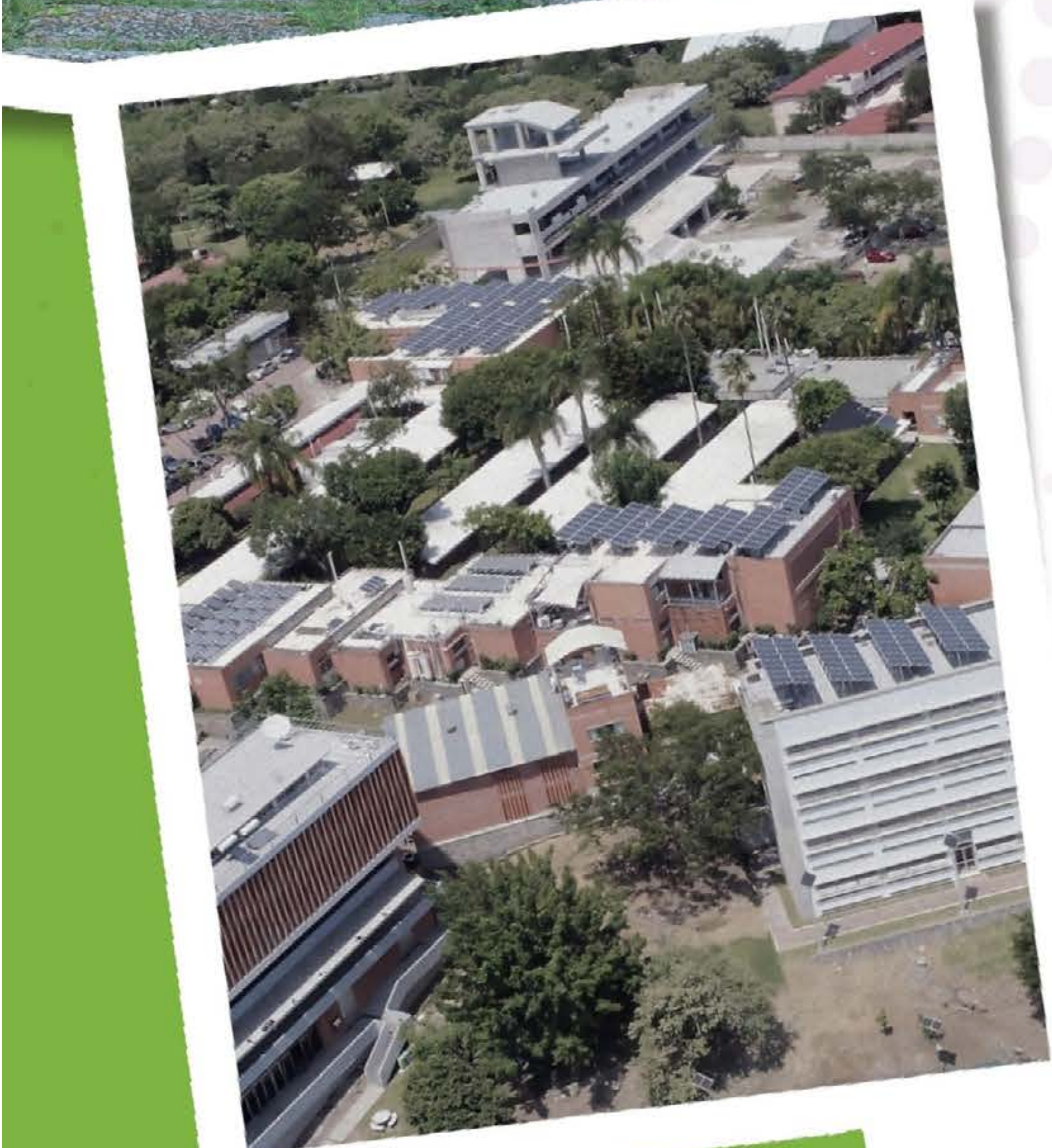


Actividades culturales y deportivas

Espacios y programas que fomentan la creatividad, el bienestar y la vida universitaria.



Consulta las convocatorias para Licenciatura y Posgrado



IER- UNAM
Temixco, Morelos, México