

Año 3, Número 4, mayo-agosto 2025. Publicada el 4 de agosto de 2025

LA RENOVABLE

**ENERGÍA AZUL: UNA MEZCLA
DE AGUA DULCE CON SALADA**

Biomasa: desbloqueando el poder
de la energía de la naturaleza

Las tierras raras: elementos críticos
en la transición energética

Basura electrónica... **¿es basura?**

Paco Vende naranjas Rojas y Tomates

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.

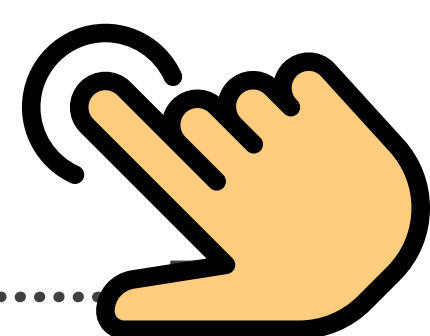
Las imágenes superiores también funcionan como accesos rápidos a los temas más relevantes. Un solo toque y estarás allí.



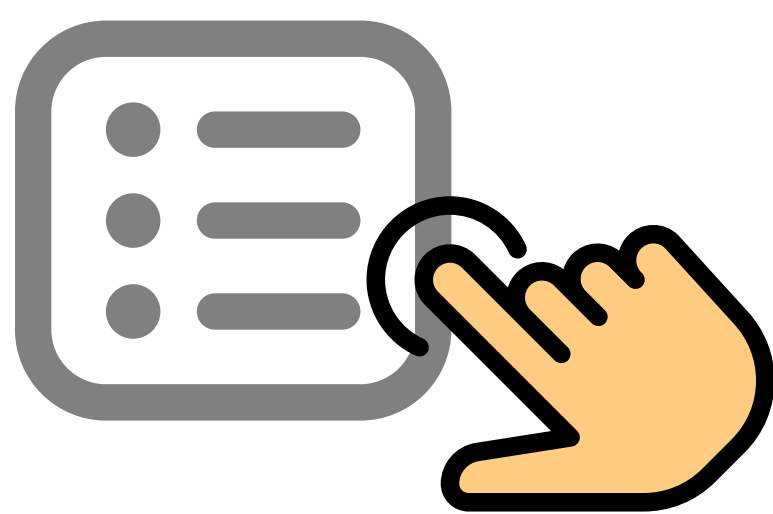
Contenido

Ventana a las energías renovables

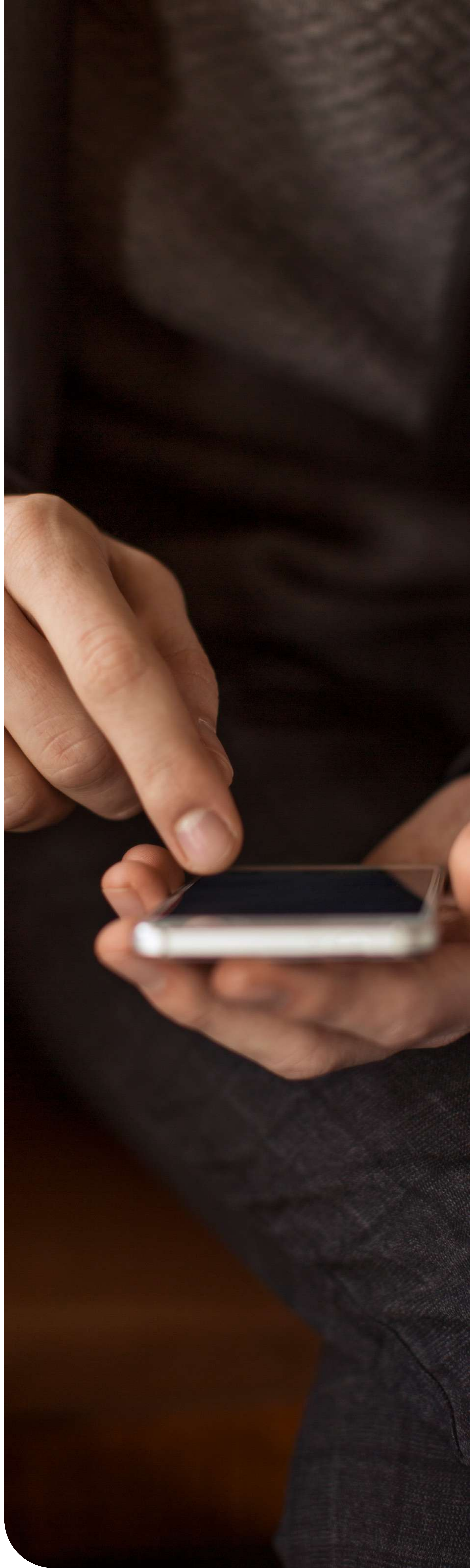
- Energía azul: mezclar agua dulce con salada para generar electricidad5
Jonathan Ibarra Bahena
- Biomasa: desbloqueando el poder de la energía de la naturaleza.....
Ugochukwu Patrick Okoye
- El papel de los polímeros en las energías renovables 11
Arelis Ledesma Juárez
- Secado solar por deshidratadores indirectos, una forma



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

EsBrillante
Diseño gráfico

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

Corrección de estilo

Mtro. C. David Leal Fulgencio
Mtra. Nicté Yasmín Luna Medina
Lic. Daniela P. Juárez Bahena

La Renovable, Año 3, No. 4, mayo-agosto 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 www.ierunam.mx/LaRenovable, larenovable@unam.mx.

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, 11 de marzo 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

Ventana a las energías renovables

- **Energía azul: mezclar agua dulce con salada para generar electricidad**5
Jonathan Ibarra Bahena
- **Biomasa: desbloqueando el poder de la energía de la naturaleza**.....7
Ugochukwu Patrick Okoye
- **El papel de los polímeros en las energías renovables** 11
Arelis Ledesma Juárez
- **Secado solar por deshidratadores indirectos, una forma de usar el sol para conservar nuestros alimentos**14
Carlos Castañeda Zuluaga, Yuridiana Rocío Galindo Luna y Fernando Gabriel Arroyo Cabañas

Tendencias actuales

- **Las tierras raras: elementos críticos en la transición energética** 17
Gustavo Santos Raga y Edgar Rolando Santoyo Gutiérrez
- **Química computacional vs CO₂: cómo la teoría del funcional de la densidad ayuda a cuidar el planeta** 21
Orlando Castro Ocampoy Jesús Muñoz Soria

Algo más

- **Basura electrónica... ¿es basura?** 24
Marina Elizabeth Rincón González, César Eduardo Sánchez Rodríguez y Julio César Calva Yáñez
- **Paco Vende naranjas Rojas y Tomates**..... 28
Manira Elena Narvaez Saucedo

Renueva tus conocimientos

- **Jóvenes talentos: ¿por qué y para qué estudiar Ingeniería en Energías Renovables?**32
Rubi Denise Garcia Martinez



Carta editorial

A quienes nos leen:

Me complace presentarles este número de *La Renovable* en el que hemos compilado textos de diferentes estilos y temas que les acercarán a nuevas perspectivas que se estudian desde el campo del conocimiento de las energías renovables.

En la sección “Ventana a las energías renovables” encontrarán un texto que habla de la energía azul, llamada así a la manera de generar energía eléctrica mediante una mezcla de agua dulce con agua salada; el autor nos presenta algunas plantas piloto que se han puesto en operación para producir electricidad con energía azul. El siguiente artículo explora el potencial energético que tienen diferentes tipos de biomasa, a lo largo de esas líneas conocerás cuánta energía se puede obtener de la biomasa, cuánta tenemos disponible y cuánto tiempo puede durar. Después, encontrarás un texto que nos cuenta sobre un material muy versátil que encontramos en diferentes productos de nuestra vida cotidiana: los polímeros; la autora nos presenta su aplicación en las diferentes tecnologías que aprovechan las fuentes renovables de energía. Finalmente, se abre una ventana para acercarnos al tema de los secadores solares y su aplicación para deshidratar alimentos y con eso alargar su vida útil en el anaquel.

En la sección de “Tendencias actuales” encontrarás dos temas que recientemente han sido foco de interés en la investigación: tierras raras y la teoría del funcional de la densidad (DFT, por sus siglas en inglés).

El primer tema nos acerca a ese grupo de la tabla periódica de los elementos químicos que hoy en día se consideran críticos para la transición energética con fuentes renovables de energía; los autores nos explican qué son las tierras raras, su aplicación en soluciones energéticas y la línea de investigación que realizan en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM sobre el tema. Mientras que en el texto sobre la DFT, los autores nos hablan sobre cómo esta teoría de la química computacional permite simular la interacción del dióxido de carbono con otros materiales para ver cuáles podrían ser útiles para capturarlo; o bien, transformarlo en otros componentes menos dañinos para el planeta.

En este número presentamos la sección “Algo más” en la que encontrarás un artículo que nos habla sobre la basura electrónica y nos muestra que es posible reciclar materiales de aquellos dispositivos electrónicos que se han vuelto obsoletos. Además, en esta ocasión, tenemos un cuento sobre termodinámica y métodos numéricos, un tema que no puede faltar en las energías renovables. Por último, te traemos una recomendación para leer, se trata de un libro digital escrito por estudiantes de la Licenciatura de Ingeniería en Energías Renovables quienes describen por qué y para qué estudiar una ingeniería en energías renovables. 🌞

Nicté Luna
Editora

Energía azul: mezclar agua dulce con salada para generar electricidad

Jonathan Ibarra Bahena

Cuando escuchamos el término “energías renovables” probablemente las primeras imágenes que vienen a nuestra mente son el sol con los paneles fotovoltaicos y los calentadores de agua solares, o el viento y los enormes aerogeneradores, o tal vez el agua y las imponentes centrales hidroeléctricas. Sin embargo, ¿te imaginas producir electricidad al mezclar agua salada con agua dulce? La idea seguramente te sonará poco creíble, ya que se trata solo de agua con diferente salinidad y eso parece poca cosa. No obstante, una enorme fuente de energía se esconde en esta simpleza.

Antes de que vayas por agua y sal a la cocina, permíteme explicarte cómo funciona. La energía producida por un gradiente salino, conocida como “energía azul”, tiene dos formas principales. La primera es por el fenómeno conocido como ósmosis. Probablemente la palabra te suene, ya que existe un proceso para producir agua dulce que se llama ósmosis inversa, y desde grandes plantas industriales hasta la pequeña purificadora de agua cerca de tu casa lo utilizan. La ósmosis es un proceso en el cual una membrana semipermeable separa una solución con alta concentración de sal de otra solución con baja concentración.

Como a la naturaleza no le gustan las diferencias, el solvente (agua en este caso) de la solución con baja concentración empieza a moverse hacia el lado de la solución con mayor concentración, pasando a través de la membrana semipermeable que solo permite el paso del solvente, para finalmente equilibrar las concentraciones de sal en ambos lados de la membrana. Este proceso genera algo llamado presión osmótica, que puede verse

fácilmente al notar las diferentes alturas entre las soluciones al llegar al equilibrio. La Figura 1 muestra, de manera esquemática, el proceso de ósmosis. Este fenómeno permite el desplazamiento de grandes volúmenes de agua sin necesidad de una bomba hidráulica, y puede ser utilizado para impulsar una turbina y producir electricidad.

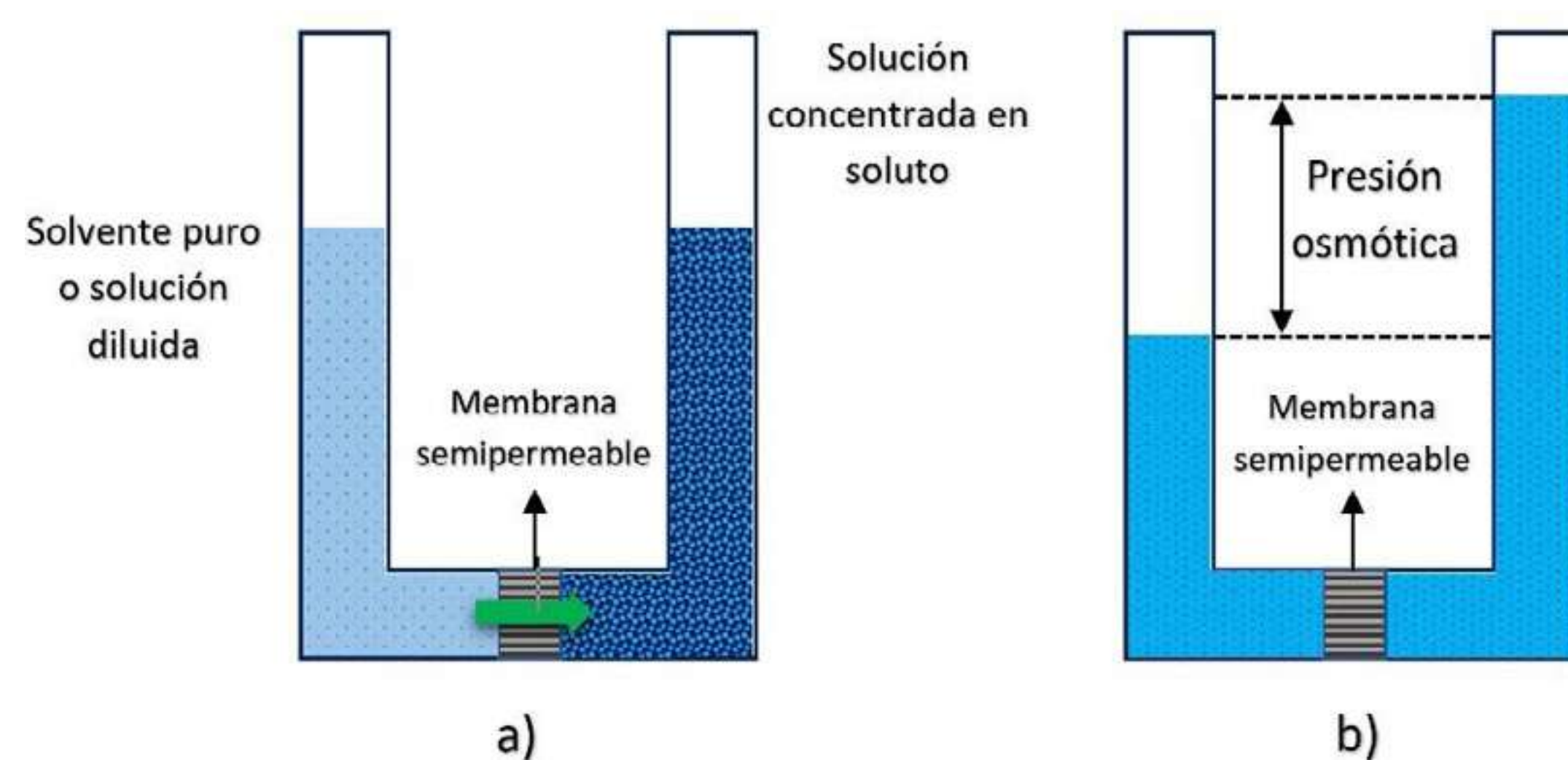


Figura 1. Diagrama esquemático del proceso de ósmosis, a) antes del equilibrio y b) en equilibrio osmótico.

La segunda forma de la energía azul es lo que se conoce como electrodiálisis inversa. Para abordar este proceso, recordemos un poco las clases de química: cuando disolvemos sal de mesa (NaCl) en agua, las moléculas de sal se disocian en iones (Na^+ y Cl^-) los cuales son partículas cargadas eléctricamente. La electrodiálisis inversa utiliza membranas que son capaces de diferenciar iones: una membrana que solo permite el paso de cationes (Na^+), y otra de aniones (Cl^-). En cada compartimento, se introduce agua dulce y salada de manera alternada, provocando así el movimiento de los iones debido a la diferencia de concentración salina, generando de esta manera electricidad. La Figura 2 muestra, de manera esquemática, el proceso de electrodiálisis inversa.

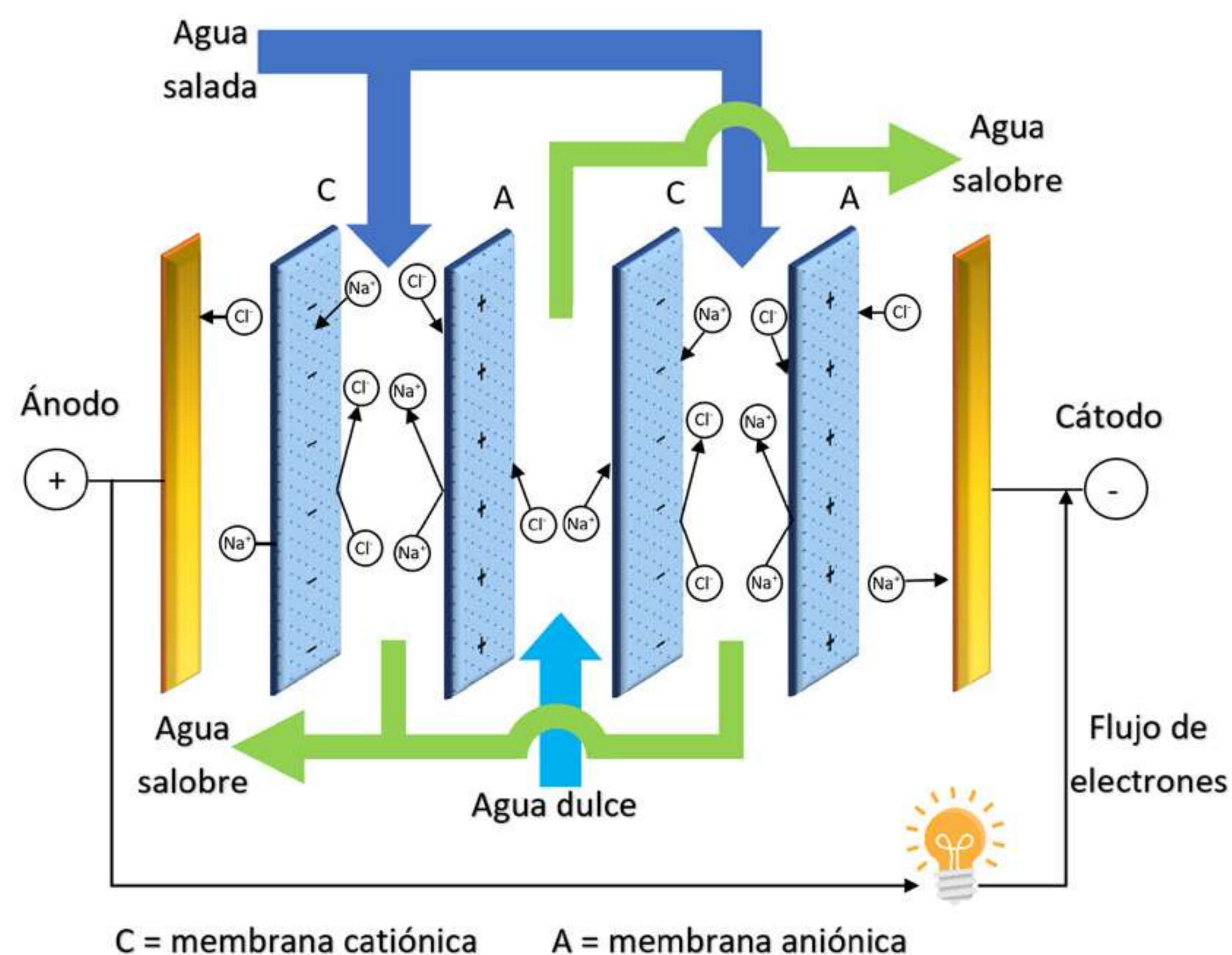


Figura 2. Diagrama esquemático del proceso de electrodiálisis inversa.

La cantidad de energía azul disponible, en teoría, es de hasta 0.8 kilowatts (kW) por metro cúbico de agua mezclada por segundo ^[1]. Tal vez este valor suene poco, ya que es la energía apenas suficiente para encender 8 lámparas de 100 watts, pero imagina la cantidad de agua dulce y salada que se mezcla todos los días en la desembocadura de un río, seguramente la cantidad de energía que se puede producir resulta atractiva. A pesar de ello, a diferencia de otras fuentes de energías renovables, el desarrollo tecnológico para el aprovechamiento de la energía azul es limitado, pero se han reportado instalaciones experimentales que demuestran su factibilidad.

En 2009, la empresa noruega Statkraft puso en marcha la primera planta de generación eléctrica por energía azul que tenía una capacidad de 4 kW ^[2]. En 2014 en Países Bajos, se puso en marcha una planta piloto con capacidad para generar hasta 50 kW de electricidad utilizando agua dulce del lago IJsselmeer y agua salada del mar de Wadden ^[3]. Otro proyecto liderado por la startup Sweetch Energy, y la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) pretende construir una instalación que se situará en el delta del Ródano y se espera que para 2030 la planta genere alrededor de 4 Terawatts-hora (TWh) al año, que es energía suficiente para una población de más de 1.5 millones de habitantes ^[4]. Como puedes ver, la energía azul es una energía renovable poco conocida, cuyo único residuo es el agua

salobre resultante de la mezcla de agua dulce y salada y, a diferencia de algunas otras fuentes de energías renovables, es constante. Sin embargo, todavía hay problemas que resolver.

Es una tecnología aún en desarrollo, por lo que sigue siendo costosa; solo se puede colocar en lugares donde el agua dulce se encuentra con la salada, como estuarios o desembocaduras de ríos; la superficie de membrana requerida para su funcionamiento es, todavía, muy grande, y genera un impacto ambiental todavía no cuantificado, ya que puede alterar algunos ecosistemas acuáticos. Como todas las energías renovables, la energía azul tiene pros y contras, pero no podemos pasar por alto que es una alternativa viable en la solución a la excesiva dependencia de combustibles fósiles (y su innegable impacto ambiental) para la producción de la tan necesaria energía eléctrica. ☀️

Referencias

- [1] Logan, B. E., & Elimelech, M. (2012). *Membrane-based processes for sustainable power generation using water*. *Nature*, 488(7411), 313-319. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature11477>
- [2] Bocquet, L., Mottet, B. et Rigaut, J. (2023). *La puissance osmotique ou la révolution française des énergies renouvelables?* *La Revue de l'Énergie*, 666(1), 51-57. <https://stm.cairn.info/revue-revue-de-l-energie-2023-1-page-51?lang=fr>
- [3] Klomp, H. (2012). *Dialysis dike. Pilot plant for blue energy; Dialysedijk. Proefcentrale voor blauwe energie*. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/21541955>
- [4] Carlos Noya, C. N. (2022, 21 marzo). *Francia levantará en 2023 su primera planta de energía osmótica*. FCE. <https://forocohelectricos.com/2022/03/francia-primera-planta-energia-osmotica.html>

Biomasa: desbloqueando el poder de la energía de la naturaleza

Ugochukwu Patrick Okoye

En este texto, nos sumergimos en el emocionante mundo de la biomasa, una fuente de energía que viene directamente de la naturaleza. La biomasa se trata de usar materiales orgánicos como madera, restos de cultivos e incluso desechos animales para crear energía. La biomasa contiene componentes que son polímeros (moléculas grandes formadas por unidades más pequeñas y repetidas, como bloques de construcción). En las plantas, algunos polímeros son hemicelulosa, celulosa y lignina, que dan estructura y fuerza a las hojas, tallos y madera ^{[1][2]}.

Consulta la Tabla 1 para ver diferentes polímeros de distintas biomásas; los valores dependen de la especie y los métodos de procesamiento. Pero, ¿cómo sabemos si una biomasa en particular es buena para dar energía a nuestras casas, autos y ciudades? Vamos a dividirlo en tres grandes preguntas: ¿cuánta energía puede darnos la biomasa?, ¿cuánta hay disponible? y ¿cuánto tiempo puede durar? ¡Sigue leyendo para descubrirlo!

¿Cuánta energía puede proporcionar la biomasa?

Imagina convertir tus sobras de cocina o un montón de hojas caídas en electricidad o combustible. Esa es la magia de la biomasa, o mejor dicho, la ciencia. Para saber su potencial energético, vemos cuánto calor puede producir. En los laboratorios se mide esto con algo llamado “contenido energético”, generalmente en unidades como megajulios (MJ) o kilowatts-hora (kWh). Por ejemplo, la madera seca puede dar entre 15 MJ por kilogramo y 19 MJ por kilogramo, mientras que los desechos de comida húmedos pueden dar menos porque el agua en ellos reduce su potencia energética ^[3].

El truco es probar diferentes tipos de biomasa. Algunos, como los tallos de maíz, se pueden quemar directamente para hacer calor o vapor para electricidad ^[4]. Otros, como la caña de azúcar, se pueden convertir en biocombustibles como el etanol para autos. Usamos herramientas como calorímetros (ingeniosos aparatos para medir calor) para verificar cuánta energía tiene cada material. Además, podemos saber cuánta energía está contenida en la biomasa analizando su composición de dos maneras clave: el análisis próximo da un desglose rápido de cuánta agua contiene, cuánto se quema rápido, cuánto se quema lento y qué queda como ceniza; la otra es el análisis último, que va más a fondo porque se miden elementos como carbono, oxígeno, nitrógeno, azufre e hidrógeno, que determinan cuánta energía puede liberar ^[5].

Tipo de biomasa	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)
Coníferas (madera blanda)	40–50	25–35	25–35
Cáscaras agrícolas (por ejemplo, cáscaras de nuez, cáscaras de semillas)	20–35	15–30	30–50
Residuos agrícolas (por ejemplo, paja, restos de maíz)	30–45	20–35	10–25
Desechos municipales (fracción orgánica)	30–50	10–30	10–25

Tabla 1. Contenido típico de celulosa, lignina y hemicelulosa de diferentes biomásas ^{[1][2]}.

Estos estudios nos ayudan a identificar el verdadero poder de la biomasa como fuente de energía renovable. Otra manera de conocer la energía contenida en cada biomasa es usando el conocimiento de sus elementos. Como la biomasa es orgánica, contiene hidrógeno, carbono, oxígeno y elementos menores como azufre y/o nitrógeno. Si sabes esto, puedes usarlo para estimar la energía contenida en cualquier biomasa.

La biomasa sólida como la madera se ha usado durante siglos para proporcionar energía en transporte, electricidad y cocina. Hasta la fecha, este tipo de biomasa tiene la mayor aplicación. Cuando quemamos madera para cocinar o para hacer carbón (como el que se usa para asar carne), el proceso suele no estar controlado. Esto libera mucho dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera. Los datos muestran que contribuye entre 1.9 y 2.3 % de las emisiones globales de CO_2 [6].

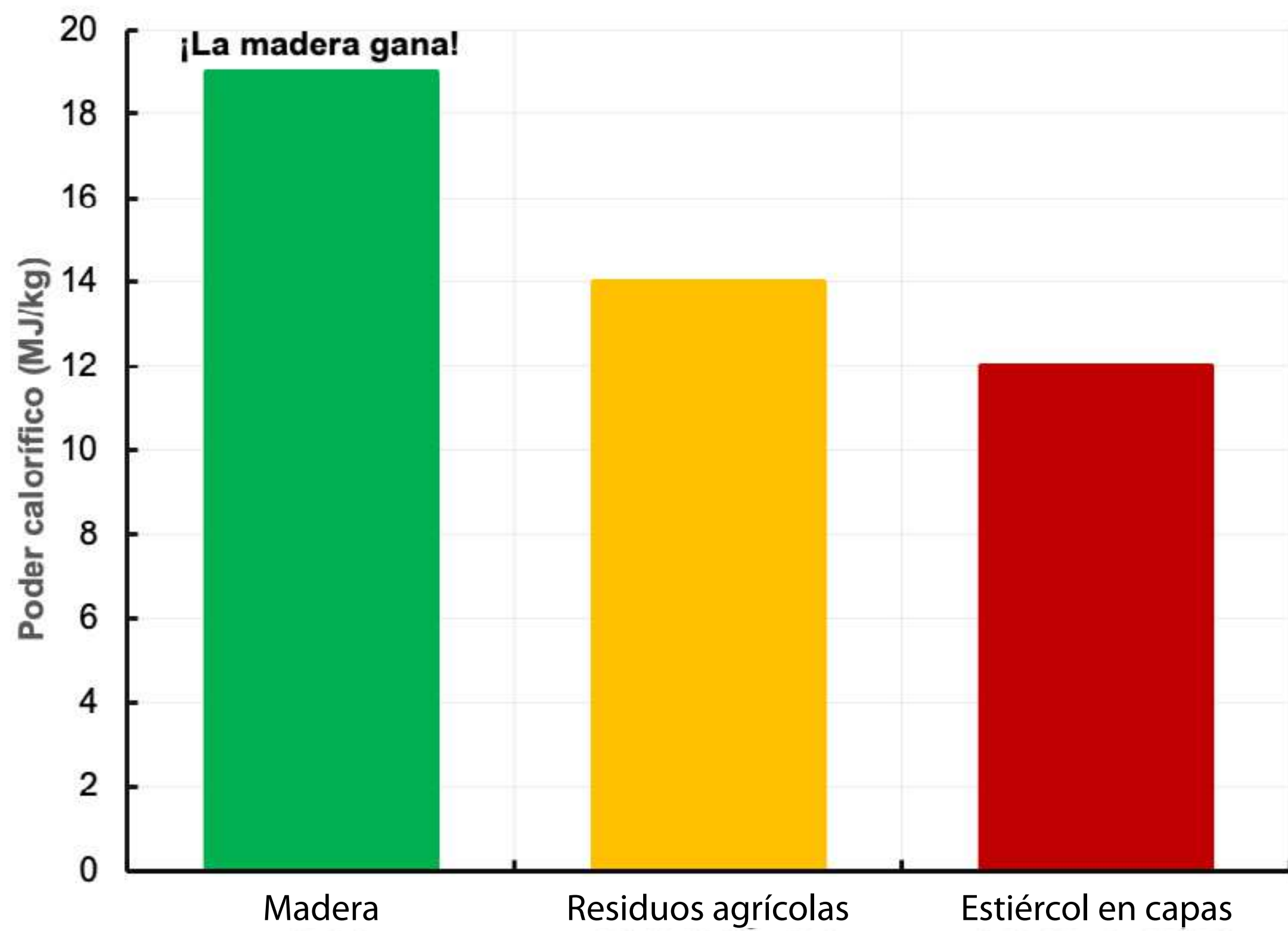


Figura 1: Gráfico de barras del contenido energético de algunas biomásas.

Entonces, la biomasa tiene un verdadero potencial energético, pero depende de qué tipo de biomasa usas... ¿Hay suficiente para todas las personas? ¿Cuánta biomasa está disponible?

La biomasa está por todas partes. Piensa en todos los árboles, pastos y cultivos que crecen a nuestro alrededor, además de los desechos orgánicos que producimos. Para calcular su disponibilidad, necesitamos contar qué hay y dónde está. A esto se le llama “inventario de biomasa”.

Los agricultores, forestales e incluso los planificadores urbanos ayudan rastreando cosas como:

- Cuánta paja de trigo queda después de la cosecha.
- Cuántas ramas de árboles se podan cada año.
- Cuántos desechos de comida terminan en los vertederos.

Por ejemplo, un país como Estados Unidos produce millones de toneladas de tallos de maíz y astillas de madera cada año, mientras que una nación más pequeña podría depender de cáscaras de coco o cascarillas de arroz. ¿El problema? No todo es fácil de obtener. Algunas biomásas están lejos de los caminos, y otras ya se usan para cosas como alimento para animales, o se procesan en fibra o rellenos. Además, no queremos tomar demasiado y dañar el suelo o los bosques, y ahí es donde entra la planificación inteligente.

La tecnología también ayuda. Los satélites y los mapas pueden detectar grandes zonas de biomasa, como bosques o tierras agrícolas. Con esto se estima cuánto podemos usar sin alterar el equilibrio de la naturaleza. Por ejemplo, en cuanto a producción de trigo en México, los estados más importantes son Sonora que, en 2024, representó el 52 % de la producción total de trigo en México, seguido por Guanajuato (12 %), Baja California (8 %) y Sinaloa (7 %); por otro lado, se produjeron unas 23.3 millones de toneladas de maíz en el mismo año [7]. Los estados de Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Guanajuato y Estado de México son algunos de los mayores productores de maíz [7].



Figura 2. Principales estados de México en producción de trigo (elaborada en paintmaps.com).



Figura 3. Principales estados de México en producción de maíz (elaborada en paintmaps.com).

¿Qué tan duradera es la biomasa como fuente de energía?

La durabilidad se trata de si la biomasa puede seguir dándonos energía año tras año. A diferencia del petróleo, que se agota una vez que se extrae, la biomasa puede volver a crecer si la manejamos bien. Los árboles vuelven a crecer, los cultivos se replantan y los desechos nunca dejan de acumularse (¡gracias, humanos!). Esto hace que la biomasa sea renovable; pero hay un gran “pero”: solo es duradera si no nos excedemos.

Por ejemplo, talar demasiados árboles sin replantar puede dejarnos con bosques vacíos. Usar demasiado las tierras de cultivo para cultivos energéticos podría agotar los nutrientes del suelo. Por lo tanto, debemos tomar en cuenta varios aspectos para asegurar la durabilidad: qué tan rápido vuelve a crecer la biomasa, por ejemplo, el bambú crece superrápido (Figura 4); cuánto podemos tomar sin dañar los ecosistemas; cómo el cambio climático, manifestado en sequías, por ejemplo, podría afectar el crecimiento.

¿Lo genial? Podemos mejorar la durabilidad con trucos inteligentes. Plantar cultivos de crecimiento rápido como el pasto silvestre (*Panicum virgatum*) o aprovechar desechos como fuente de energía mantiene el suministro estable. En algunos lugares se combina biomasa con energía solar o eólica para tener una fuente de energía confiable.

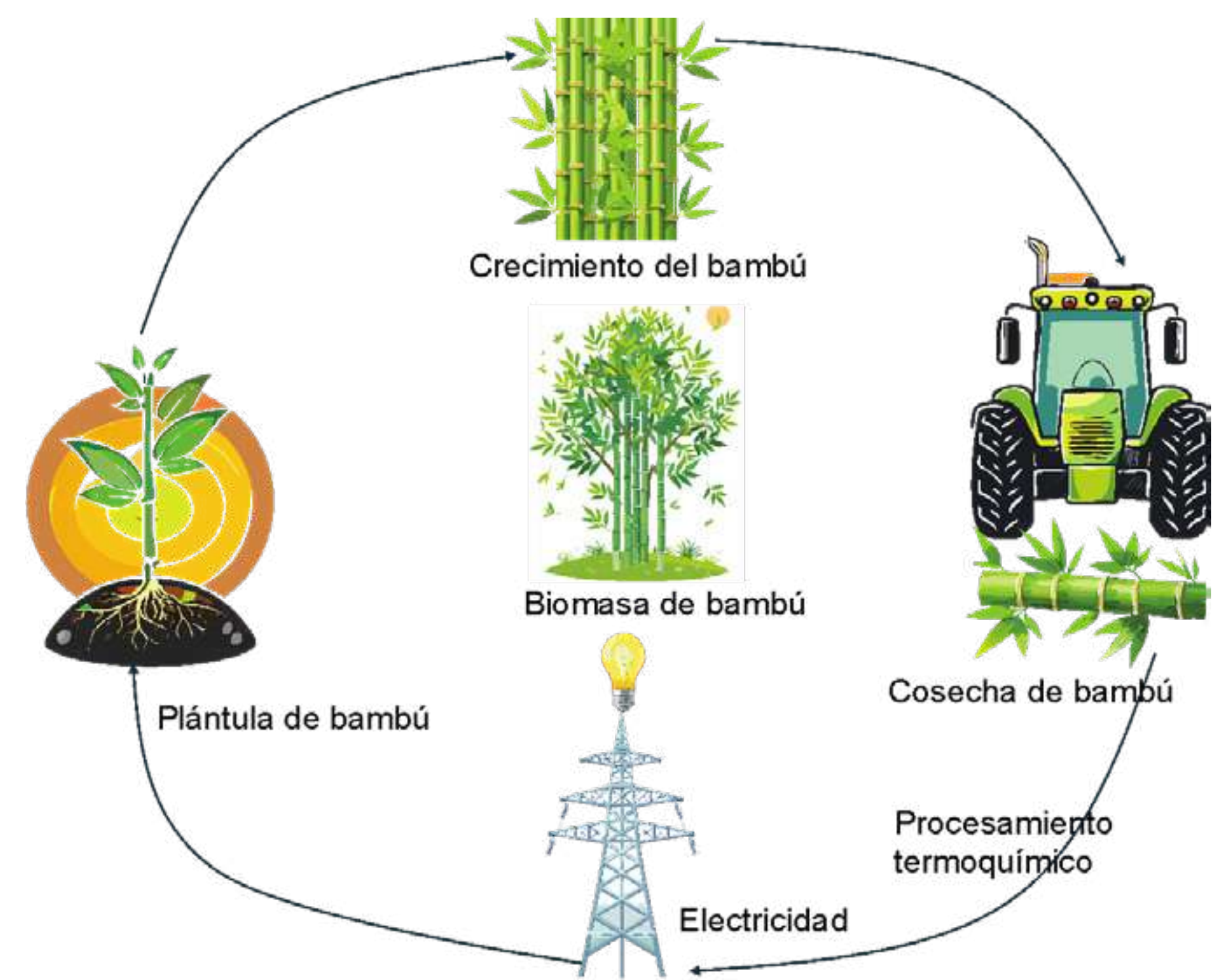


Figura 4: Durabilidad de la biomasa de bambú en círculo.

Conclusión

La biomasa es una fuente de energía poderosa que espera ser utilizada. Su potencial energético depende de lo que usemos y cómo lo procesemos. La disponibilidad es enorme, con toneladas de material orgánico a nuestro alrededor, aunque necesitamos aprovecharlo de manera sabia y duradera. Es renovable siempre que no nos excedamos y planeemos para el futuro.

Así que la próxima vez que tires un corazón de manzana o rastrojos hojas, piensa: ¿podría esto proveerme energía? Con la biomasa, la respuesta podría ser “sí”.

Referencias

- [1] Testa, M. L., & Tummino, M. L. (2021). *Lignocellulose biomass as a multifunctional tool for sustainable catalysis and chemicals: An overview*. *Catalysts*, 11(1), 125. <https://doi.org/10.3390/catal11010125>
- [2] Ning, P., Yang, G., Hu, L. et al. *Recent advances in the valorization of plant biomass*. *Biotechnol Biofuels* 14, 102 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13068-021-01949-3>
- [3] Günther, Björn & Gebauer, Kathrin & Barkowski, Robert & Rosenthal, Michael & Bues, Claus-Thomas. (2012). *Calorific value of selected wood species and wood products*. *European Journal of Wood and Wood Products*. 70. 755-757. 10.1007/s00107-012-0613-z
- [4] Wei He, Lei Xu, Yongna Cao, Hongru Shang, Yanling Yu, *Aerobic fermentation of corn straw for clean heat utilization: an evaluation model*, *Renewable Energy*, Volume 253, 2025, 123591, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.123591>
- [5] Diego Racero-Galaraga, Jesús D. Rhenals-Julio, Stiven Sofan-German, Jorge M. Mendoza, Antonio Bula-Silvera, *Proximate analysis in biomass: Standards, applications and key characteristics*, *Results in Chemistry*, Volume 12, 2024, 101886, ISSN 2211-7156, <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101886>
- [6] Bailis, Robert & Drigo, Rudi & Ghilardi, Adrian & Masera, Omar. (2015). *The carbon footprint of traditional woodfuels*. *Nature Climate Change*, 5, 10.1038/nclimate2491
- [7] Rodrigo Trejo, *Grains and Feed Update*, Mexico City, 2025, USDA.

El papel de los polímeros en las energías renovables

Arelis Ledesma Juárez

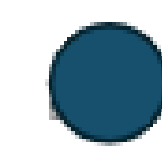
Los polímeros son materiales muy versátiles que poseen un alto peso molecular, constituidos por unidades repetitivas llamadas monómeros. La importancia de los materiales poliméricos se encuentra en crecimiento debido a su amplia gama de aplicaciones como, por ejemplo, materiales que usamos en nuestra vida diaria (plásticos), aplicaciones biomédicas (productos médicos) y fotovoltaicas (celdas solares). En este artículo exploraremos qué son los polímeros y sus diversas aplicaciones, con énfasis en su papel en las energías renovables.

¿Qué son los polímeros?

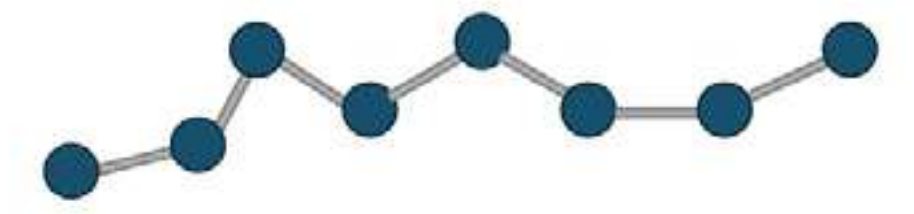
Los polímeros son macromoléculas que poseen un elevado peso molecular, estos materiales están formados por unidades repetidas enlazadas entre sí llamados monómeros, formando cadenas largas y flexibles. En la Figura 1 se muestra la representación esquemática general de un polímero.

La clasificación principal de los polímeros consiste en naturales y sintéticos. Los polímeros naturales, como su nombre lo indica, son los que se encuentran en la naturaleza, como por ejemplo el caucho; mientras que los polímeros sintéticos son fabricados químicamente, como el polietileno tereftalato (PET, usado en botellas plásticas) ^[1].

Los materiales poliméricos tienen la facilidad de ser procesables, es decir, modificados, dependiendo del uso que se le quiera dar. Se puede variar su peso molecular (tamaño), flexibilidad, dureza, resistencia y conductividad ^[2].



Monómero



Polímero

Figura 1. Representación general de un polímero (imagen elaborada en BioRender).

Aplicaciones típicas de los polímeros

Los polímeros poseen una gran variedad de aplicaciones en distintos sectores debido a las propiedades que poseen. Algunas de las aplicaciones son las siguientes ^[2] (ver figura 2):

- Industria del embalaje: fabricación de botellas y bolsas de plásticos.
- Industria textil: fabricación de fibras sintéticas para ropa.
- Industria automotriz y aeroespacial: fabricación de componentes para automóviles y aeronaves.
- Aplicaciones biomédicas: se usan para fabricar productos médicos y dispositivos de liberación controlada de fármacos.
- Recubrimientos: fabricación de pinturas y adhesivos.
- Productos de consumo: productos de uso diario, como utensilios de cocina.
- Electrónica: elaboración de componentes como condensadores, cables y pantallas.
- Dispositivos tecnológicos: los polímeros conductores permiten la fabricación de baterías y pantallas táctiles, que son esenciales en dispositivos electrónicos modernos.

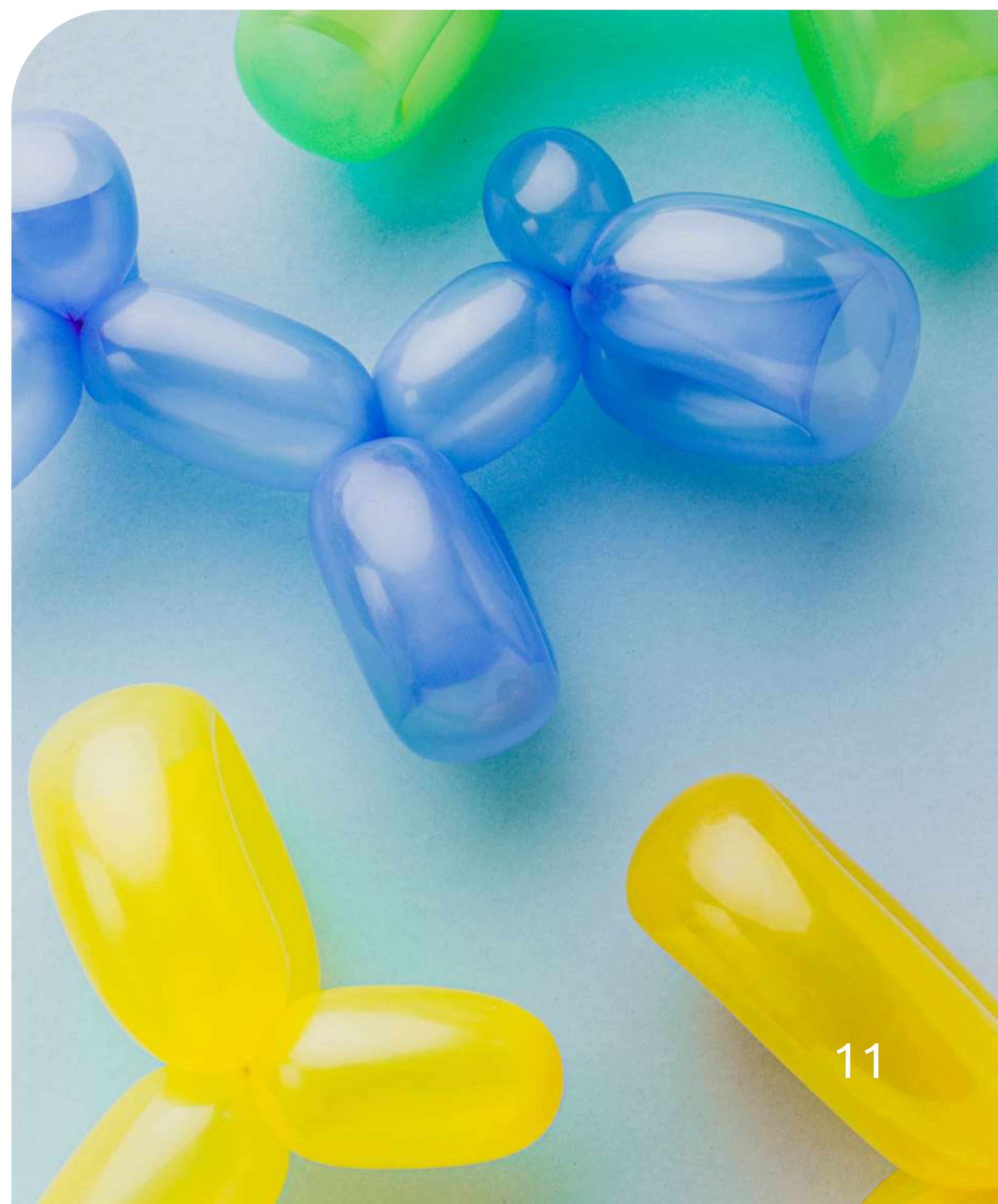




Figura 2. Ejemplo de algunas aplicaciones típicas de los polímeros (imagen tomada de <https://www.freepik.com>).

Importancia de los polímeros en las energías renovables

Los polímeros juegan un papel importante en el desarrollo de tecnologías de energías renovables. Pueden ser aprovechados en la fabricación de dispositivos y materiales empleados en diversas tecnologías relacionadas con la energía limpia ^[3], como se describe a continuación.

Celdas solares

Los polímeros están siendo investigados y probados en la fabricación de celdas solares orgánicas (OSCs). Estas celdas están basadas en materiales semiconductores orgánicos (polímeros conductores) y tienen la capacidad de convertir la energía solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. La producción de las OSCs es más barata que las celdas a base de silicio, además de ser procesables y flexibles. Este tipo de celdas ha alcanzado eficiencias de conversión de energía de 17 % ^[4].

Energía eólica

Los polímeros recubiertos con fibra de vidrio o de carbono son utilizados en la fabricación de palas de aerogeneradores (dispositivos que aprovechan la energía del viento para generar electricidad) ^[5]; debido a su ligereza, durabilidad y resistencia a la corrosión, favorecen la eficiencia de generación eléctrica.

Baterías y almacenamiento de energía renovable

Los polímeros juegan un papel importante en las baterías de iones de litio y en el almacenamiento de energía ^[6], ya que con ellos se fabrican electrolitos sólidos y membranas conductoras poliméricas, estos componentes son fundamentales para un buen funcionamiento, seguridad, flexibilidad, estabilidad y eficiencia de las baterías.

Biocombustibles

Los polímeros biodegradables pueden ayudar a optimizar los procesos de fermentación y mejorar la eficiencia de los biocombustibles de segunda generación (que se obtienen a partir de materiales vegetales no comestibles) y tercera generación (combustible obtenidos a partir de algas y plantas acuáticas) ^[7].



Celdas de combustible

La celda de combustible transforma la energía química de algún combustible, como hidrógeno, en electricidad. En estas celdas, se utilizan polímeros en el electrolito (solución que contiene iones libres) y en las membranas de protones conductoras (membranas que transportan protones desde el ánodo al cátodo) [8], los polímeros funcionan como aislantes.

Tecnologías para reducir las emisiones de carbono: captura de CO₂

Esta tecnología separa el dióxido de carbono de una fuente de emisión para su almacenamiento o eliminación de la atmósfera, con la finalidad de contribuir al cambio climático. Los polímeros se utilizan en materiales de absorción de carbono; si estos materiales son porosos pueden capturar CO₂ de manera eficaz y económica [9].

Protección en infraestructuras energéticas

Los recubrimientos poliméricos son esenciales para proteger, cuidar y mantener la infraestructura energética [10]; como es el caso de los paneles solares y las turbinas eólicas, con el fin de mantenerlos libres de corrosión, humedad y otros factores ambientales.

En la Figura 3 se observan imágenes relacionadas a polímeros en las energías renovables.



Figura 3. Ejemplo de algunas aplicaciones de los polímeros en las energías renovables (imagen tomada de <https://www.freepik.com>).

Como puedes darte cuenta, los polímeros son materiales versátiles e increíbles.

Gracias a su capacidad de ser procesables y diseñados de acuerdo con su aplicación, estos materiales ayudan a solucionar diversos problemas que se enfrentan en el día a día, incluyendo los energéticos y medioambientales.

Los materiales poliméricos presentarán un rol esencial y multifacético en la transición hacia las energías limpias, proveyendo la generación y el almacenamiento de energía [11]. El futuro de estos materiales es prometedor y su estudio seguirá siendo primordial para la sostenibilidad y el avance de la tecnología. ☀️

Referencias

- [1] Hu, W. (2012). *Polymer physics: A molecular approach*. Springer Science & Business Media.
- [2] Brinson, H. F., Brinson, L. C., Brinson, H. F., & Brinson, L. C. (2015). *Characteristics, applications and properties of polymers*. Polymer engineering science and viscoelasticity: An introduction, 57–100. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4899-7485-3>
- [3] Ahamed, M. I., Boddula, R., & Altalhi, T. A. (Eds.). (2022). *Polymers in energy conversion and storage*. CRC Press.
- [4] Yuan, X., Zhao, Y., Xie, D., Pan, L., Liu, X., Duan, C., ... & Cao, Y. (2022). *Polythiophenes for organic solar cells with efficiency surpassing 17%*. *Joule*, 6(3), 647–661. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.02.006>
- [5] Ma, P. C., & Zhang, Y. (2014). *Perspectives of carbon nanotubes/polymer nanocomposites for wind blade materials*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 651–660. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.008>
- [6] Agobi, A. U., Louis, H., Magu, T. O., & Dass, P. M. (2019). *A review on conducting polymers-based composites for energy storage application*. *Journal of Chemical Reviews*, 1(1), 19–34. DOI: 10.33945/SAMI/JCR.2019.1.1934
- [7] Adsul, M., Tuli, D. K., Annamalai, P. K., Depan, D., & Shankar, S. (2016). *Polymers from biomass: characterization, modification, degradation, and applications*. *International Journal of Polymer Science*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1857297>
- [8] Weber, A. Z., & Newman, J. (2004). *Modeling transport in polymer-electrolyte fuel cells*. *Chemical Reviews*, 104(10), 4679–4726. DOI: <https://doi.org/10.1021/cr020729l>
- [9] Song, K. S., Fritz, P. W., & Coskun, A. (2022). *Porous organic polymers for CO₂ capture, separation and conversion*. *Chemical Society Reviews*, 51(23), 9831–9852. DOI: <https://doi.org/10.1039/D2CS00727D>
- [10] Khatri, W. A., Al Mehthel, M., Salazar, O., Baig, M., & Al Wohabi, S. (2024). *Use of polymeric materials in construction to improve durability & sustainability*. *World Journal of Engineering and Technology*, 13(1), 12–38. DOI: <https://doi.org/10.4236/wjet.2025.131002>
- [11] Davidson, E. C., Tian, H., & Priestley, R. D. (2024). *Polymers for the clean energy transition*. *JACS Au*, 4(12), 4544–4545. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/jacsau.4c01152>

Secado solar por deshidratadores indirectos, una forma de usar el sol para conservar nuestros alimentos

Carlos Castañeda Zuluaga,
Yuridiana Rocío Galindo Luna
y Fernando Gabriel Arroyo Cabañas

El uso de alimentos deshidratados abunda en la gastronomía mexicana, principalmente en cuanto a chiles, algunas infusiones, especias y hierbas aromáticas que le dan el sabor distintivo a muchos platillos cotidianos^{[1][2]}. Este tipo de alimentos han pasado por un proceso de secado que les extrae la mayor cantidad de agua para extender su vida útil. El secado de alimentos es una práctica ancestral, en la cual se elimina gran parte del contenido de agua del producto. Se realiza al utilizar una fuente de calor para lograr gradualmente la evaporación de la humedad. Esta forma de conservación es usada tanto artesanal como industrialmente en el procesado de frutas, verduras, granos, legumbres y fibras. Gracias a la pérdida de peso y volumen que experimentan los alimentos con la deshidratación, muchas civilizaciones lograron almacenar grandes cantidades y pudieron comercializarlos y transportarlos con mayor facilidad, impulsando la economía de urbes tanto antiguas como actuales.

Hoy día, existen muchas formas de realizar este proceso, desde maquinaria especializada para procesar toneladas en la industria, hasta métodos artesanales y ecotécnicos que no necesitan utilizar energéticos convencionales y contaminantes, como el gas. Algunos ejemplos de estos tipos de secado se muestran en la Figura 1; el inciso a) corresponde al secado en una planta industrial, mientras que el inciso b) muestra el secado semiindustrial de tipo solar. Por otro lado, los incisos c) y d) representan el secado artesanal

a cielo abierto y mediante deshidratadores solares, respectivamente. Estos últimos usan la energía del sol para llevar a cabo el proceso de secado, ya sea de manera directa o indirecta.



Figura 1. Tipos de secado: a) secado en planta industrial^[3], b) secado en planta semiindustrial solar^[4], c) secado al sol abierto^[5] y d) secado solar indirecto^[6].

El secado solar de manera directa se lleva a cabo principalmente a cielo abierto, es usado usualmente para procesar muchos productos agrícolas. Sin embargo, el alimento se expone a los cambios del clima, a animales que puedan consumir o contaminar el producto, así como a polvos y contaminantes comunes en el medio ambiente.

A diferencia del deshidratado al aire libre, el deshidratado solar indirecto usa materiales y estructuras que aíslan los alimentos de las condiciones ambientales, de los insectos y plagas que amenazan al producto, así como de diversos contaminantes; es decir, es un método más higiénico, eficiente y controlable. Y solo necesita de la energía solar para funcionar^[7]. Los secadores solares se usan para conservar muchos tipos de alimentos: rodajas de manzana, mango o piña; verduras, como jitomate, chile, zanahoria o calabaza, y también hierbas aromáticas o medicinales como la menta, manzanilla, romero, etc. Esto lo vuelve muy útil para personas productoras agrícolas, ya sea para consumo propio o para evitar pérdidas y extender la vida útil de los productos. Los alimentos secos ocupan menos espacio y poseen un valor añadido.



Estos dispositivos solares se integran esencialmente de dos partes. En primera instancia podemos mencionar el equipo llamado colector solar, que tiene una placa de color negro que absorbe gran parte de la radiación solar. Al calentarse, transfiere el calor al aire circundante, provocando un aumento de su temperatura y su consecuente cambio de densidad, lo que ocasiona un movimiento de aire dentro del equipo. El aire pasa posteriormente a lo que se llama la cámara de secado, es la parte de la estructura donde se introduce el producto a ser deshidratado. Esta cámara se construye con paredes aislantes para evitar perder la temperatura y para resistir las condiciones ambientales.

La Figura 2 muestra un prototipo de secador solar utilizado para secar frutas.

Para que el deshidratado sea mejor, los alimentos se cortan en trozos, como en el caso de hojas, o en rodajas o cubos con un grosor de entre 0.3 mm a 0.6 mm para el caso de frutas, verduras y raíces [8]. Cada producto tiene un proceso de secado particular, dependiendo de su estructura y contenido de agua.

El secado se considera de calidad, cuando el producto final contiene un porcentaje menor al 10 % de humedad, este parámetro se denomina actividad de agua (indicador que nos señala la capacidad de un alimento para desarrollar organismos que lo degraden); otros aspectos que nos indica la calidad es que el producto conserve una buena apariencia en términos de color, olor y textura [9], ver Figura 3.



Figura 2. Secador solar de tipo indirecto: a) vista lateral y b) interna.

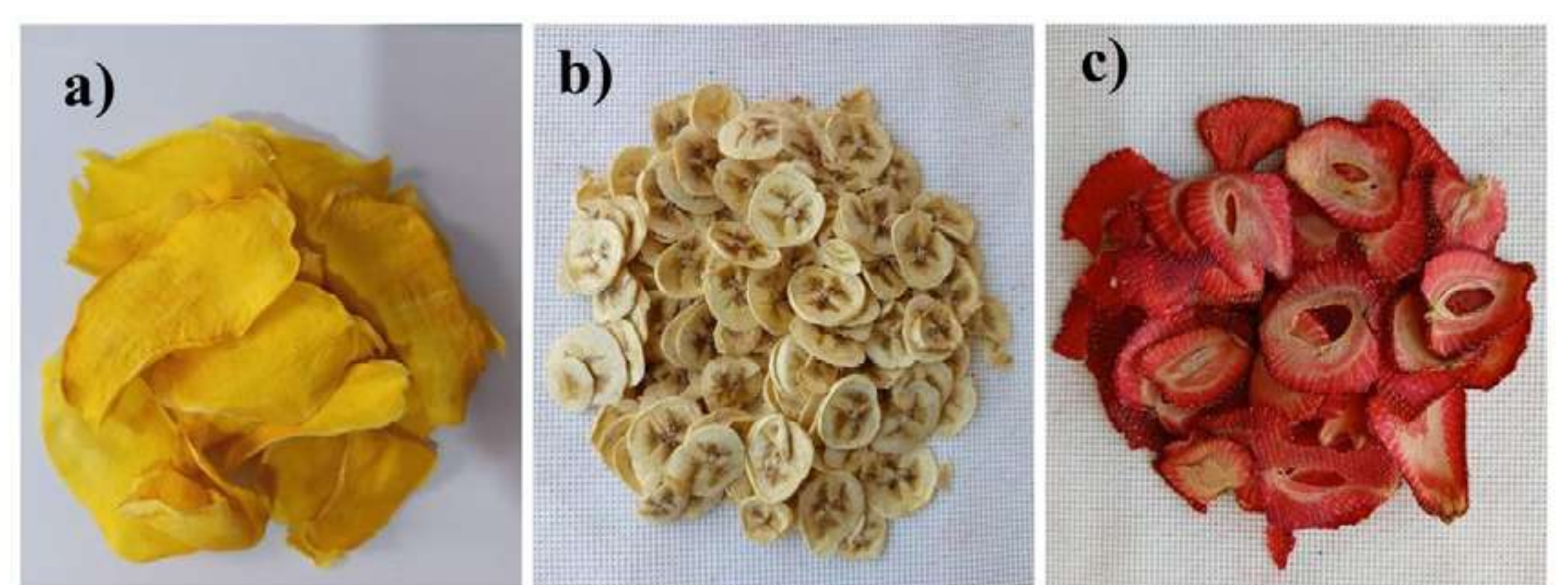


Figura 3. Fruta deshidratada en un secado solar indirecto: a) mango, b) plátano, c) fresas.

Proceso de secado

El proceso para secar con esta tecnología se puede considerar artesanal debido a que se mantienen elementos y técnicas manuales para el tratamiento de los alimentos, así como por la escala de producción ^[10]. Se realiza con los siguientes pasos (Figura 4):

- Limpeza y desinfección del producto (cuidando no degradar sus propiedades organolépticas).
- Corte del producto: ya sea en rodajas, cuadrados, cubos, dependiendo del alimento.
- Colocación del producto en las charolas de secado; con ello se evita que el aire caliente se disperse de manera incorrecta.
- Introducción de las charolas con el producto a secar dentro del secador; el prototipo aquí presentado cuenta con espacio para 8 charolas.
- Proceso de secado; el cual tiene un tiempo probado de entre 1 y 3 días, dependiendo de la cantidad de producto a secar y el tipo de producto.
- Extracción y envasado: el producto se extrae con las charolas, se lleva a un lugar aislado del medio y se recoge con guantes, posteriormente se envasa o almacena en empaques para que el producto no tenga contacto con el medio ni con la luz solar, y evitar así futuras degradaciones.



Figura 4. Procedimiento de deshidratación.

Siguiendo estos pasos y aprovechando la energía solar, tenemos un excelente snack, sin generar contaminantes, con procesos sustentables y totalmente saludable.

El deshidratado solar indirecto es una alternativa sustentable, higiénica y eficiente para conservar nuestros alimentos.

Mejora las prácticas tradicionales al incorporar ecotecnologías simples y efectivas que permiten secar frutas, verduras, granos, fibras y hierbas sin usar energéticos contaminantes. Gracias a este tipo de métodos, se pueden reducir las pérdidas de alimentos, prolongar su vida útil y revalorizarlos.

Esta tecnología es especialmente útil en zonas rurales, para productores pequeños o productores medianos, ya que ayuda a fortalecer la economía local y ofrecer alimentos saludables con procesos ambientalmente responsables. ☀️

Referencias

- SADER. (2018, 22 junio). *GastronomíaMx: Especies mexicanas, alimento para tus sentidos*. Gobierno de México. Recuperado el 7 de abril de 2025 de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/gastronomiamx-especies-mexicanas-alimento-para-tus-sentidos>
- SADER. (2017, 24 julio). *México, rico en variedad de hierbas y especias*. Gobierno de México. Recuperado el 7 de abril de 2025 de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/mexico-rico-en-variedad-de-hierbas-y-especias>
- SuperBrix. (s.f.). *Plantas de secado*. Recuperado el 18 de junio de 2025 de <https://superbrix.com/plantas-de-secado/>
- SAECSA Energía Solar. (2023). *Deshidratador solar industrial DCO*. Recuperado el 18 de junio de 2025 de <https://saecsaenergiasolar.com/catalogo/deshidratador/industrial>
- FoodUnfolded. (2021, 1 de febrero). *Comida deshidratada: ¿cómo se hace?* Recuperado el 18 de junio de 2025, de <https://www.foodunfolded.com/es/articulo/comida-deshidratada-como-se-hace>
- UNAM – Dirección General de Comunicación Social. (2023, mayo). *Implementan técnica de secado solar para prolongar la vida de alimentos*. Boletín DGCS-UNAM. Recuperado el 18 de junio de 2025, de https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2023_148.html
- Sharma, A., Chen, C., & Lan, N. V. (2008). *Solar-energy drying systems: A review*. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1185-1210. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.015>
- Malik, A., & Kumar, M. (2024). *Assessment of a mixed-mode vertical solar dryer for experimental turmeric drying*. *Solar Energy*, 282, 112980. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112980>.
- Zambrano, M. V., Dutta, B., Mercer, D. G., MacLean, H. L., & Touchie, M. F. (2019). *Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review*. *Trends In Food Science & Technology*, 88, 484-496. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.006>
- Solar brother. (2015). *El deshidratador solar OMY manual (1.a ed., Vol. 1) [Manual digital]*. Solar Brother. https://www.solarbrother.com/wp-content/uploads/2023/06/MANUEL-OMY-ES.pdf?srltid=AfmBOoogDNmudydoYZxgHQO-__yJihB1vcekRF4,rrz79Ie1xju7UrPJ1

Las tierras raras: elementos críticos en la transición energética

*Gustavo Santos Raga
y Edgar Rolando Santoyo Gutiérrez*

Las tierras raras son materiales críticos muy importantes usados en la industria, la medicina y en la generación de electricidad mediante tecnologías basadas en energías renovables.

¿Qué tan raras son las tierras raras?

Los elementos químicos forman parte de nuestra vida diaria. Seguramente, hemos escuchado hablar de algunos de ellos o incluso los hemos llegado a mencionar sin darnos cuenta. Por ejemplo, el aluminio de las latas de refrescos, el potasio en alimentos como el plátano, el calcio de las cáscaras de huevo o el cobre en las líneas de transmisión eléctrica. Otros, en cambio, son conocidos por su valor económico como, por ejemplo, el hierro, el platino, el oro y la plata. Si revisamos detenidamente nuestra tabla periódica de los elementos¹, podremos observar que de hecho está conformada por 118 elementos químicos ordenados en 18 grupos, cada uno con propiedades físicas y químicas que los hacen únicos. Ahora bien, en los últimos años, ha cobrado especial interés un grupo de elementos que anteriormente pasaba desapercibido: los lantánidos, comúnmente conocidos como «tierras raras» (TR).

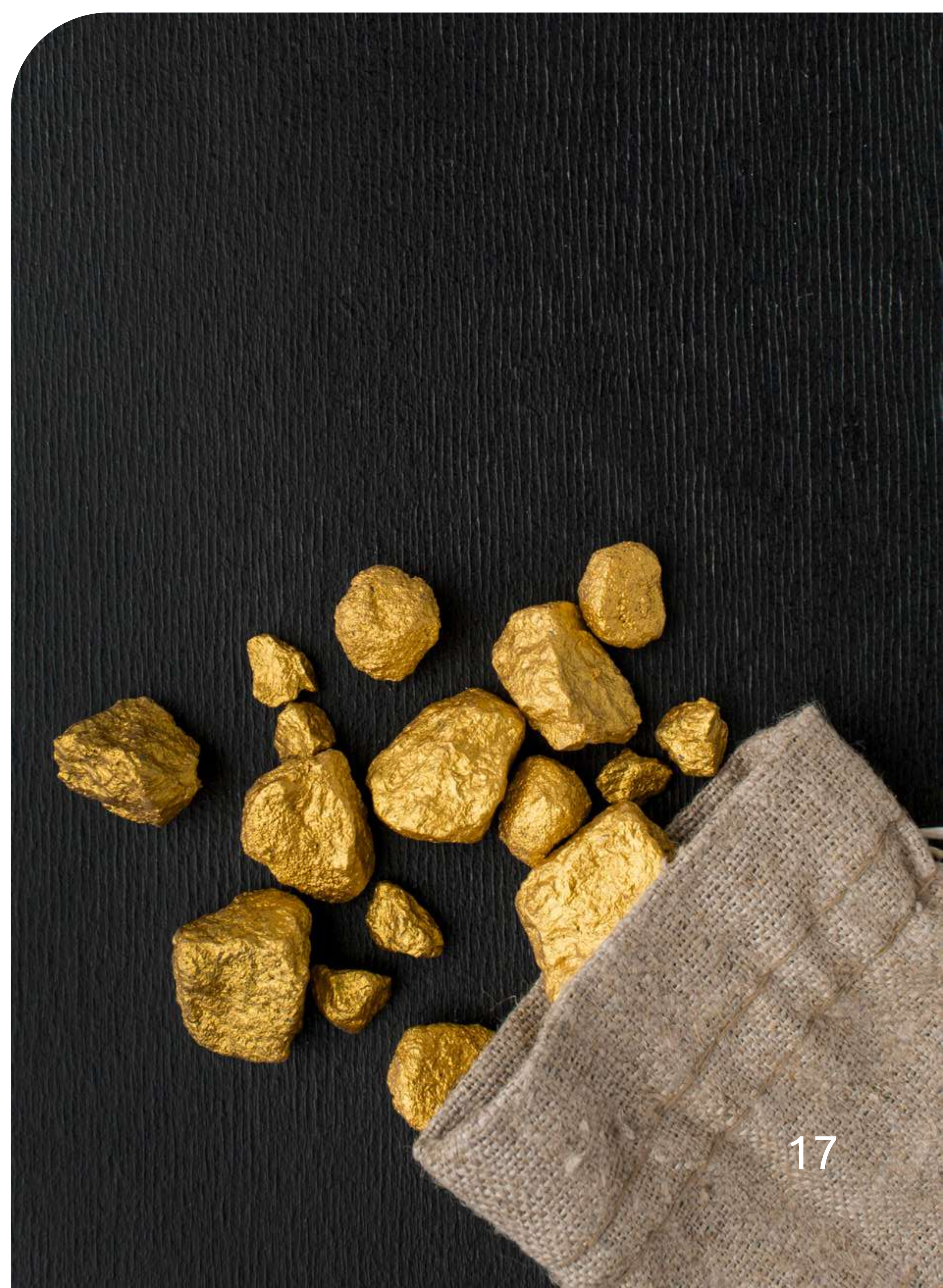
Aclaremos algo, estos elementos ni son tierras ni son raras. Se les conoce así debido a su contexto histórico, ya que inicialmente fueron descubiertas en forma de óxidos (llamados tierras en ese entonces) que eran im-

¹ Puedes consultar la tabla periódica aquí: [Wikipedia](https://es.wikipedia.org/wiki/Tabla_peri%C3%B3dica_de_elementos)

posibles de aislar con la tecnología utilizada a finales del siglo XVII, considerando a esas «tierras» como óxidos de metales raros^[1]. Este nombre sigue siendo el más utilizado por la comunidad científica del área de ciencias de la tierra.

Para definir a este grupo de elementos, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, acrónimo de International Union of Pure and Applied Chemistry) cita que el grupo de TR está constituido por los lantánidos, que corresponden a los 15 elementos de la sexta fila de la tabla periódica (ver Figura 1), y que incluye al: lantano (La), cerio (Ce), praseodimio (Pr), neodimio (Nd), prometio (Pm), samario (Sm), europio (Eu), gadolinio (Gd), terbio (Tb), disprosio (Dy), holmio (Ho), erbio (Er), tulio (Tm), iterbio (Yb) y lutecio (Lu); pero el prometio está ausente en la naturaleza ya que es un elemento radiactivo con una vida media corta². Además, la IUPAC considera también al itrio (Y) y el escandio (Sc). Sin embargo, es importante mencionar que el Sc se comporta de manera bastante diferente a las demás TR. Esta es la razón por la cual normalmente se considera que el grupo de TR está compuesto por los 14 lantánidos más el Y.

² Vida media: tiempo que tarda la mitad de la cantidad de un elemento radiactivo en desintegrarse.



Estos elementos se caracterizan por compartir propiedades físicas y químicas muy similares, lo que los hace un grupo coherente y verdaderamente interesante, con aplicaciones únicas y muy efectivas para el desarrollo tecnológico y otras áreas científicas y médicas.

A continuación, se presenta la problemática de abastecimiento que gira alrededor de estos materiales críticos, sus aplicaciones en la industria tecnológica y energética y, finalmente, algunas tareas de investigación que se realizan en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM (IER-UNAM) por parte del grupo de Geoenergía para el estudio de este importante grupo de elementos, su concentración, distribución y rol en la exploración de los sistemas geotérmicos.

Raras perouibicuas

Como se mencionó anteriormente, las TR no son realmente raras en cuanto a su abundancia, pero sí en su distribución en la corteza terrestre, su extracción y separación de otros elementos. Su importancia en el desarrollo



de la sociedad actual ha incrementado tanto que países como Estados Unidos los han declarado materiales críticos para la economía y la seguridad nacional, debido a su papel fundamental en la industria tecnológica y energética.

Dentro de este contexto, por ejemplo, el Eu ha permitido una imagen cada vez más nítida en los televisores modernos, el Nd, el Tb y el Dy son usados como insumos clave para la fabricación de potentes imanes permanentes empleados en el diseño de los gigantes adversarios de Don Quijote: los aerogeneradores; el La y el Ce contribuyen a la fabricación de convertidores catalíticos y en la iluminación LED; el Sm tiene importantes aplicaciones médicas como en el tratamiento del cáncer, y el Tb se utiliza comúnmente en la fabricación de discos duros de estado sólido para computadoras, entre muchas otras aplicaciones. Estas aplicaciones nos dan una clara idea de la presencia constante y silenciosa de las TR en nuestra vida diaria, así como del rol que desempeñan en temas clave como la seguridad energética, el crecimiento económico y la sostenibilidad ^[2].



La dependencia de estos elementos en las tecnologías actuales ha generado una mayor demanda global, y con ella la necesidad de intensificar esfuerzos de exploración, extracción y separación de estas materias primas. En 2018, la producción mundial alcanzó las 170,000 toneladas de TR, teniendo a China como el principal productor y consumidor. Actualmente, de acuerdo con informes internacionales ^[3], China controla más del 90 % de la producción mundial de TR a través de la explotación de sus principales zonas mineras. Este dominio plantea no sólo preguntas importantes sobre el acceso a estos recursos en otras regiones del mundo, sino también sobre la necesidad de buscar fuentes alternativas y tecnologías más sostenibles para su aprovechamiento y protección del medio ambiente.

Tierras raras en la transición energética

La reciente transición energética hacia la diversificación de fuentes renovables y la electrificación también ha contribuido significativamente al aumento en la demanda de ciertos elementos y de minerales muy específicos. En la Figura 2, se puede apreciar el incremento de la demanda de materiales críticos como las TR impulsado por el desarrollo tecnológico de las energías renovables. Por otro lado, es sabido que las TR están conectadas con tres áreas claves de la transición energética: la producción, eficiencia

energética y almacenamiento, las cuales se entrelazan en las tecnologías limpias y emergentes como las turbinas eólicas, los vehículos eléctricos, las baterías recargables y la iluminación de bajo consumo ^[1]. Elementos como La, Ce, Nd, Eu, Tb, Dy e Y se consideran críticos para estas tecnologías.

La producción de aerogeneradores depende de estos elementos, ya que son necesarios fabricar imanes permanentes, componentes esenciales de esta tecnología. ¿Sabías que se necesitan alrededor de 0.65 toneladas de imanes por cada MW de capacidad de turbina eólica, con el 30 % compuesto por Nd y Pr, y el 2 % por Dy ^[4]?

En aplicaciones de eficiencia energética, las lámparas LED que utilizan fósforos dopados con europio permiten lograr una mejor eficiencia de iluminación en comparación con las lámparas tradicionales. Gracias al europio, las lámparas LED reducen el consumo de energía, lo que contribuye a la sostenibilidad energética global e indirectamente a la protección del medio ambiente. Además, los vehículos eléctricos también usan imanes en sus motores, alrededor de 1.5 kg de imanes, de los cuales 0.5 kg son de neodimio y praseodimio, y aproximadamente 35 gramos de disprosio ^[5].

Para el almacenamiento de energía, las baterías de níquel-metal hidruro (NiMH) utilizan una cantidad sustancial de lantano, llegando a emplear entre 10 y 15 kilogramos por ve-

Número atómico	Símbolo	Nombre	Radio iónico
21	Sc	Escandio	$r = 0.81$
39	Y	Yttrio	$r = 0.93$
70	Ln	Lantánidos	$r = 0.94$

Figura 1. Tabla periódica de los elementos químicos, resaltando a los elementos del grupo de las Tierras Raras.

hículo.

Estas baterías las podemos encontrar en muchos productos de consumo recargables y algunos vehículos híbridos, donde las aleaciones para baterías también representan una aplicación importante del Ce, Nd, Pr y Sm. Se prevé que la demanda de TR en aplicaciones de baterías disminuya a medida que las baterías de iones de litio desplacen a las baterías NiMH, razón por la cual al litio también se le considera un material crítico.

¿Para qué estudiamos las tierras raras en el IER-UNAM?

Queremos entender las fuentes aprovechables en la Tierra, los métodos o técnicas disponibles para su cuantificación, los procesos de extracción y separación, los mecanismos de transporte y distribución, así como las posibles aplicaciones de estos elementos en la exploración del aprovechamiento del calor del subsuelo, lo que representa una valiosa oportunidad para contribuir al conocimiento y la innovación para la transición energética.

En el IER-UNAM, el Grupo de Investigación en Geoenergía (GIG) está llevando a cabo un interesante proyecto de investigación relacionado con el estudio de las TR en sistemas geotérmicos. El proyecto ha sido financiado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), a través de sus programas de Ciencias de Frontera, y lleva por nombre «Determinación Geoquímica de Tierras Raras en Matrices Geotérmicas de Interacción Roca-Fluido para la Evaluación Teórica-Experimental de Estructuras Moleculares y Patrones Multi-variados de Fraccionamiento y Movilidad».

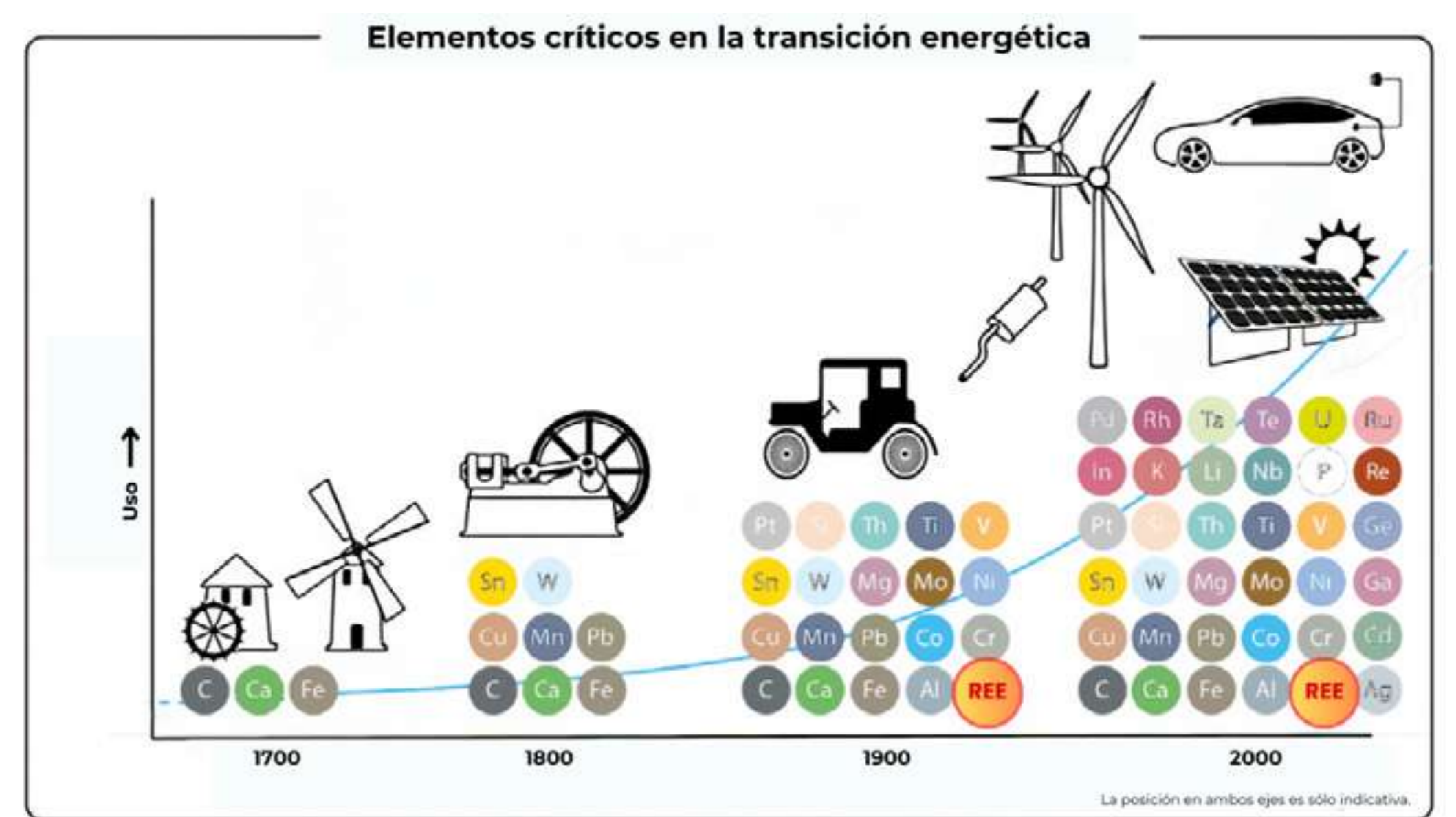


Figura 2. Evolución de la demanda de materiales críticos en la transición energética. Modificado de Zepf y col. (2014) [6].

Este proyecto tiene varios objetivos, como estudiar la forma en que las concentraciones de TR en líquidos y rocas pueden ayudarnos a localizar sistemas geotérmicos (SG) de gran potencial. Otro importante objetivo, es el de evaluar a las salmueras geotérmicas (fluidos típicos de los SG, caracterizados por alta concentración de elementos químicos), y a las rocas que han sido modificadas por el calor y el agua, para evaluar si pueden ser una fuente natural de TR.

Este trabajo es importante para el país porque contribuye a la búsqueda de nuevos sitios geotérmicos potenciales, susceptibles a incorporarse al portafolio energético nacional y como posibles fuentes de TR que, como hemos platicado, representan un recurso crítico en el contexto internacional. Creemos que es de suma importancia diversificar las fuentes de estos materiales por la independencia tecnológica y energética.

Referencias

- [1] Prego Reboredo, R. (2021). *Las tierras raras una pieza clave en el puzle de la energía*. *Energía y Geoestrategia*, 309–378.
- [2] Opore, E. O., Struhs, E., & Mirkouei, A. (2021). *A comparative state-of-technology review and future directions for rare earth element separation*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110917. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110917>
- [3] Patel, D. K., Sharma, V. K., & Sharma, H. O. (2025). *Current global status of rare earth elements (REEs) and their role as catalysts in reducing air pollution for maintaining environmental sustainability*. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s12666-024-03499-2>
- [4] Moss, R. L., Tzimas, E., Kara, H., Willis, P., & Kooroshy, J. (2013). *The potential risks from metals bottlenecks to the deployment of Strategic Energy Technologies*. *Energy Policy*, *55*, 556–564. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.053>
- [5] Nkiawete, M. M., & Vander Wal, R. L. (2025). *Rare earth elements: Sector allocations and supply chain considerations*. *Journal of Rare Earths*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2024.01.020>
- [6] Zepf, V., Simmons, J., Reller, A., Ashfield, M., & Rennie, C. (2014). *Materials critical to the energy industry: An introduction (2nd ed.)*. BP p.l.c.

Química computacional vs CO₂: cómo la teoría del funcional de la densidad ayuda a cuidar el planeta

Orlando Castro Ocampo
y Jesús Muñoz Soria

Un gas con mala fama

El dióxido de carbono, o CO₂, es un gas natural que todos conocemos: lo exhalamos al respirar y se libera al quemar combustibles fósiles. Aunque es parte del ciclo natural del carbono, su exceso en la atmósfera está causando un problema serio: el cambio climático. Al acumularse, el CO₂ atrapa el calor del sol en la atmósfera, generando lo que se conoce como el efecto invernadero. Por eso, la comunidad científica de todo el mundo están buscando formas de capturarlo y transformarlo en sustancias menos dañinas... ¡o, mejor aún, que nos sean útiles!

Una herramienta poderosa para estudiar este tipo de soluciones es la química computacional, y dentro de ella, una técnica llamada teoría funcional de la densidad o DFT por sus siglas en inglés (Density Functional Theory). Aunque suena compleja, te sorprenderá lo útil y accesible que puede ser esta teoría para entender y resolver problemas ambientales urgentes.

¿Qué es la DFT y por qué es tan importante?

Imagina que quieres saber cómo se comporta un material frente al CO₂: ¿lo atraparé? ¿Lo transformará en otra sustancia? ¿Será estable? Para responder estas preguntas en un laboratorio, tendrías que sintetizar el material, hacer pruebas y análisis. Todo esto toma tiempo, dinero y esfuerzo. Aquí entra la DFT.

Esta teoría permite simular con una computadora cómo se comportan los electrones en un átomo, molécula o sólido (como una lámina de cobre, por ejemplo), usando los principios de la mecánica cuántica. En lugar de observar directamente los electrones (algo que no podemos hacer), se estudia cómo se distribuye la densidad de estos electrones en el espacio. Esta información es suficiente para predecir cómo interactuarán los átomos entre sí, si una molécula será estable o cómo reaccionará una sustancia al contacto con otra como el CO₂.

Gracias a la DFT, los científicos pueden probar miles de materiales virtuales sin fabricarlos físicamente, ahorrando recursos y acelerando el descubrimiento de soluciones para capturar el CO₂.

Adsorber y transformar CO₂: cómo lo estudia la DFT



Figura 1. Dióxido de carbono sobre superficie de hematita.

Una estrategia clave para reducir el CO₂ atmosférico es capturarlo mediante materiales sólidos como ciertos minerales, óxidos metálicos, o materiales porosos. En este proceso, como se puede apreciar en la Figura 1, el CO₂ se adsorbe (se pega a la superficie del material, sin incorporarse dentro de él).

Pero si además logramos que ese CO₂ se transforme químicamente en algo útil, como metanol (un combustible), bicarbonato (presente en antiácidos) o ácido oxálico (necesario como materia prima para elaboración de otros compuestos químicos), entonces estamos dando un doble golpe al problema.

Los estudios basados en DFT permiten:

- Explorar cómo se une el CO_2 a la superficie del material, qué tan fuerte es esa unión, qué tipo de enlaces se forman y si la molécula cambia de forma al hacerlo.
- Simular reacciones químicas que podrían transformar el CO_2 en otros compuestos, identificando posibles pasos intermedios y barreras de energía.
- Comparar diferentes materiales para ver cuál es más eficiente, estable o económico.

Por ejemplo, se han usado simulaciones DFT para estudiar cómo el CO_2 interactúa con superficies de óxidos metálicos, como el dióxido de titanio (TiO_2), o con materiales porosos conocidos como armazón metal-orgánicas (MOFs, por sus siglas en inglés), que son como esponjas moleculares con espacios internos donde el gas puede quedar atrapado.

Ventajas de usar DFT en estos estudios

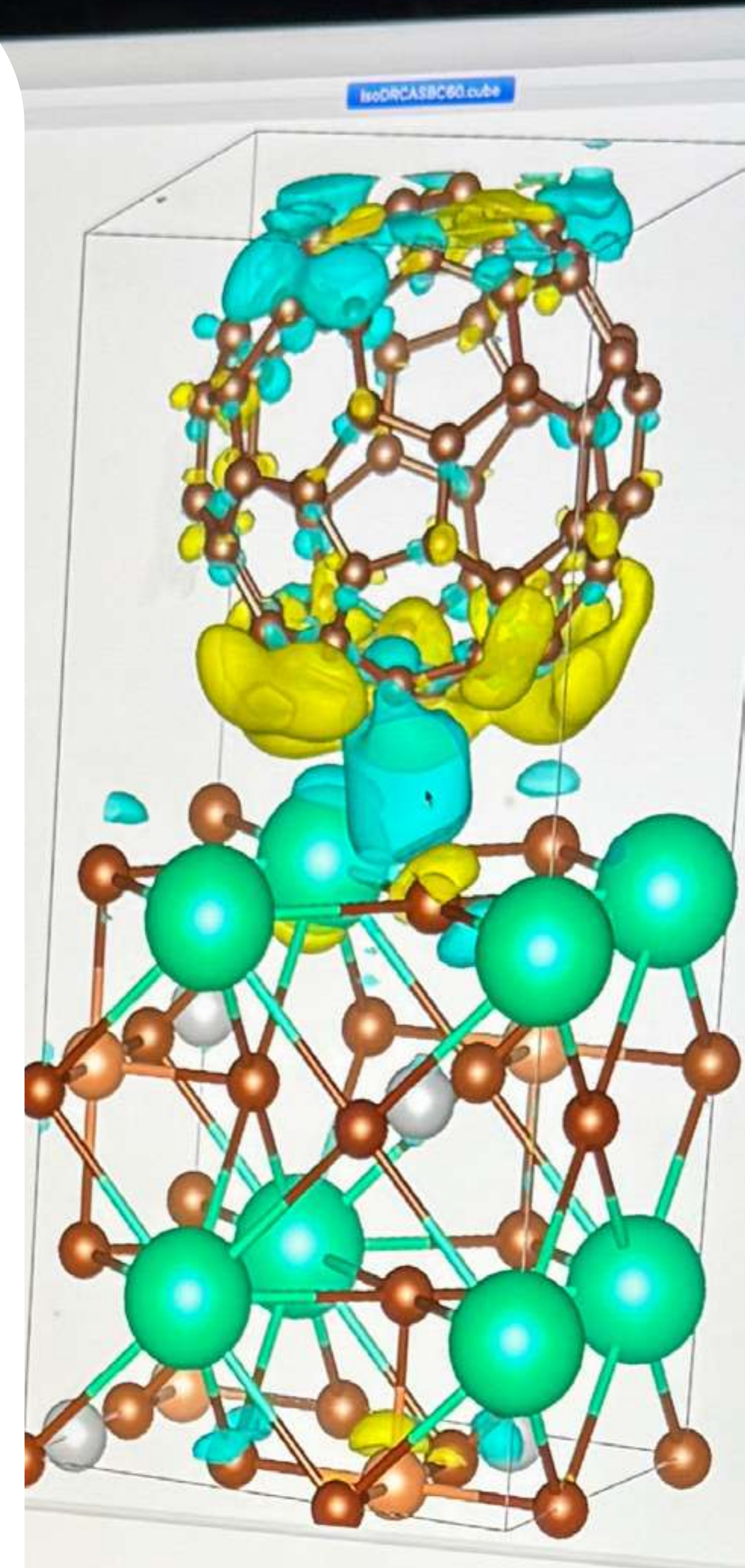
Las simulaciones DFT ofrecen muchas ventajas:

- Evitan la necesidad de experimentar con materiales peligrosos o difíciles de conseguir.
- Reducen costos y tiempo de investigación.
- Permiten estudiar materiales que aún no existen en la práctica, pero que podrían sintetizarse si muestran buen potencial.
- Dan información detallada a nivel atómico, imposible de obtener con técnicas experimentales tradicionales.

En otras palabras, los resultados obtenidos ayudan a elegir los materiales más prometedores para probarlos y utilizarlos en las aplicaciones deseadas a nivel laboratorio antes de dar el salto al nivel industrial.

¿Y qué perspectivas hay? El futuro de la DFT contra el CO_2

La química computacional y la DFT seguirán siendo piezas clave en la lucha contra el cambio climático. A medida que avanzan los estudios sobre mejores aproximaciones de la DFT para obtener resultados más apegados a la realidad, mejora el código y sus algoritmos para hacer los procesos más rápidos y eficientes. Además, con el aumento de la capacidad de los equipos de cómputo, es posible estudiar con mayor precisión sistemas más complejos tomando en cuenta más condiciones reales en la simulación. También se combinan estos métodos con inteligencia artificial para acelerar más el descubrimiento de nuevos materiales.



En un futuro, podríamos adaptar nueva tecnología con materiales diseñados mediante simulaciones computacionales a las plantas industriales para capturar el CO_2 que emiten directamente al aire y convertirlo en productos de valor como otros combustibles, compuestos fertilizantes o materias primas para otros productos químicos. Imagínate que estás en un gran mar con miles de islas y miles de millones de materiales potenciales para distintas aplicaciones y que tienes acceso a un radar que te puede guiar hacia un material, según el uso que le quieras dar. Eso es la DFT. Nos ayuda a saber en qué dirección ir antes de dar los pasos costosos o saltar de material en material erráticamente, a prueba y error.

Conclusión

Es importante mencionar que, aun cuando los resultados que da la DFT son valiosos, deben ser verificados experimentalmente. La DFT nos da la oportunidad de comprender mejor algunos de los fenómenos físicos que suceden en las superficies de los materiales donde se desarrollan las reacciones; y al tener una mejor comprensión de lo que estudiamos, seremos capaces de identificar áreas de oportunidad y proponer mejoras.

Los cálculos pueden llenar vacíos en una problemática; pero sin una validación, los cálculos son los que quedan en el vacío. Para la DFT, su validación es la evidencia experimental.

Dicho lo anterior, es un hecho que es una herramienta poderosa y versátil de la que se valen personas científicas de todo el mundo para enfrentar uno de los problemas más graves de nuestra época: la invasión del CO_2 en la atmósfera. Gracias a esta herramienta computacional, podemos estudiar y diseñar materiales que no solo capturen este gas, sino que también lo transformen en algo útil.

Lo más emocionante es que todo esto se puede hacer en una computadora, sin necesidad de ensayos costosos o peligrosos. La ciencia, una vez más, se pone al servicio del planeta... y de nuestro futuro.

Referencias

- [1] Castro-Ocampo, O., Celaya, C. A., González-Reyes, L., Hernández-Pérez, I., Garibay-Febles, V., Jaramillo-Quintero, O. A., & Suárez-Parra, R. (2022). *Understanding hydroxyl radicals addition to CO_2 on 2-Fe 2O_3 (1 1 0) surface photocatalyst for organic compounds production*. *Fuel*, 310, 122465. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122465>
- [2] Jones, R. O. (2015). *Density functional theory: Its origins, rise to prominence, and future*. *Reviews of Modern Physics*, 87(3), 897–923. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.87.897>
- [3] Parr, R. G. (1989). *Density functional theory of atoms and molecules*. In K. Fukui & B. Pullman (Eds.), *Horizons of Quantum Chemistry: Proceedings of the Third International Congress of Quantum Chemistry Held at Kyoto, Japan, October 29–November 3, 1979* (pp. 5–15). Springer Netherlands.
- [4] Seh, Z. W., Kibsgaard, J., Dickens, C. F., Chorkendorff, I. B., Nørskov, J. K., & Jaramillo, T. F. (2017). *Combining theory and experiment in electrocatalysis: Insights into materials design*. *Science*, 355(6321), eaad4998. <https://doi.org/10.1126/science.aad4998>



Basura electrónica... ¿es basura?

*Marina Elizabeth Rincón González,
César Eduardo Sánchez Rodríguez
y Julio César Calva Yáñez*

La modernidad podría definirse como la necesidad de llevar nuestra fuente de energía con nosotros. Sin embargo, el costo de estar conectados va de la mano con la problemática de obsolescencia de los dispositivos que empleamos. ¿Es esta basura electrónica realmente un problema o la oportunidad de corregir los excesos, además de proporcionar los insumos de futuros negocios?

Cuando le pides a una persona joven que decida qué llevar a un viaje de pocas horas, seguramente elegirá su celular. Quizás también una tablet (o iPad), y algunas otras elegirán una computadora portátil. De hecho, los términos tablet, iPad, laptop, iPhone sustituyeron otros como BlackBerry y Motorola, en tiempos relativamente cortos.

Aunque fascinante, el desarrollo tecnológico que hizo posible las redes inalámbricas, los dispositivos móviles, los teléfonos inteligentes, la integración de más funciones en dispositivos cada vez más pequeños no es el tema de esta contribución. Tampoco lo es la falta de visión y adaptación al mercado global de las grandes marcas. Quizás sí, lo que conlleva el quedar atrapado en una espiral consumista.

Aunque es una realidad innegable la preferencia de los consumidores hacia dispositivos cada vez más poderosos, también lo es que hay un mercado que la propicia a través de aplicaciones que obligan a la actualización de los dispositivos. En cada hogar y oficina hay gavetas llenas de aparatos, cables y accesorios obsoletos, que funcionaban relativamente bien, pero que ya no son “lo de hoy”. Ahí quedaron cámaras, consolas de juego, y ahí quedará también el celular que en este momento es funcional. Más aún, el “abaratamiento” de estos aparatos hace que cada vez sean más las personas que contribuyen al

uso y desuso de los mismos, además de que la individualidad y la independencia es una necesidad del “hoy” y del “ahora”. ¿Un solo teléfono, radio, TV, auto, computadora en la familia? Impensable, cada quien requiere conectarse 24/7 en dispositivos propios.

Pero ¿de dónde salen los materiales para fabricar los aparatos electrónicos?, ¿a cuánto asciende la basura electrónica? ¿es sostenible en un planeta finito? Abordemos cada pregunta por separado.

Los dispositivos electrónicos contienen una familia amplia de materiales, pero la mitad de su peso son metales. Cobre, hierro, oro, aluminio, platino y elementos de tierras raras como neodimio. La extracción de estos metales destruye ecosistemas, contamina la tierra y el agua, y está asociada con abusos en derechos humanos ^[1]. Además de que su abundancia y distribución en el planeta es diferente, por lo que su suministro está asociado a decisiones geopolíticas cambiantes.



La basura electrónica depende del país y de su nivel de ingresos. En 2022, en países como Estados Unidos o Noruega, fue de 21 y 27 kg por persona, respectivamente. El reporte de las Naciones Unidas ^[2] indica que globalmente las personas descartan cerca de 62 millones de toneladas métricas de electrónicos, con valor de 91 mil millones de dólares. Dado que los metales mencionados tienen aplicaciones en diferentes mercados, por ejemplo, en los considerados en la transición energética para mitigar el cambio climático, el valor en 2025 es mucho mayor. Sólo baste ver la expansión casi exponencial de tecnologías de energías renovables como los sistemas fotovoltaicos y eólicos (Figura 1), así como las tecnologías de almacenamiento asociadas con baterías de ion de litio, principalmente en el sector de electromovilidad ^[3]. En todos estos desarrollos hay una fuerte dependencia de los metales críticos y su cadena de suministro.

Para aliviar un poco los problemas asociados con la extracción de los metales críticos, entre ellos su encarecimiento, un concepto que cada vez cobra más importancia es el de “minado urbano”. Hay una pequeña mina en nuestros hogares y de ella se pueden extraer

los metales de interés, haciendo posible su uso circular. Evitaría la emisión de algo así como 52 millones de toneladas de gases de efecto invernadero relacionados con la minería y sería una oportunidad para fomentar modelos de negocios locales.

Para alcanzar esta meta, es necesario establecer un proceso basado en una serie de pasos que comienza con el acopio y clasificación de estos residuos para reuso o reciclaje. Los equipos se pueden reacondicionar, reparar y ofrecer en donación o venta a usuarios poco favorecidos; o bien, si ya terminaron su vida útil, se desmontan y separan las tarjetas de circuitos electrónicos y las baterías. Este proceso debe priorizar la seguridad laboral y la segregación de materiales valiosos (oro, plata, cobre, tierras raras) de los materiales peligrosos (mercurio y cadmio). Las tarjetas electrónicas recuperadas pasan entonces a un proceso de trituración, donde usualmente se utilizan sistemas magnéticos para concentrar los materiales que serán sometidos a procesos químicos convencionales o emergentes. La Figura 2, da una idea de lo complejo del proceso de reciclaje.

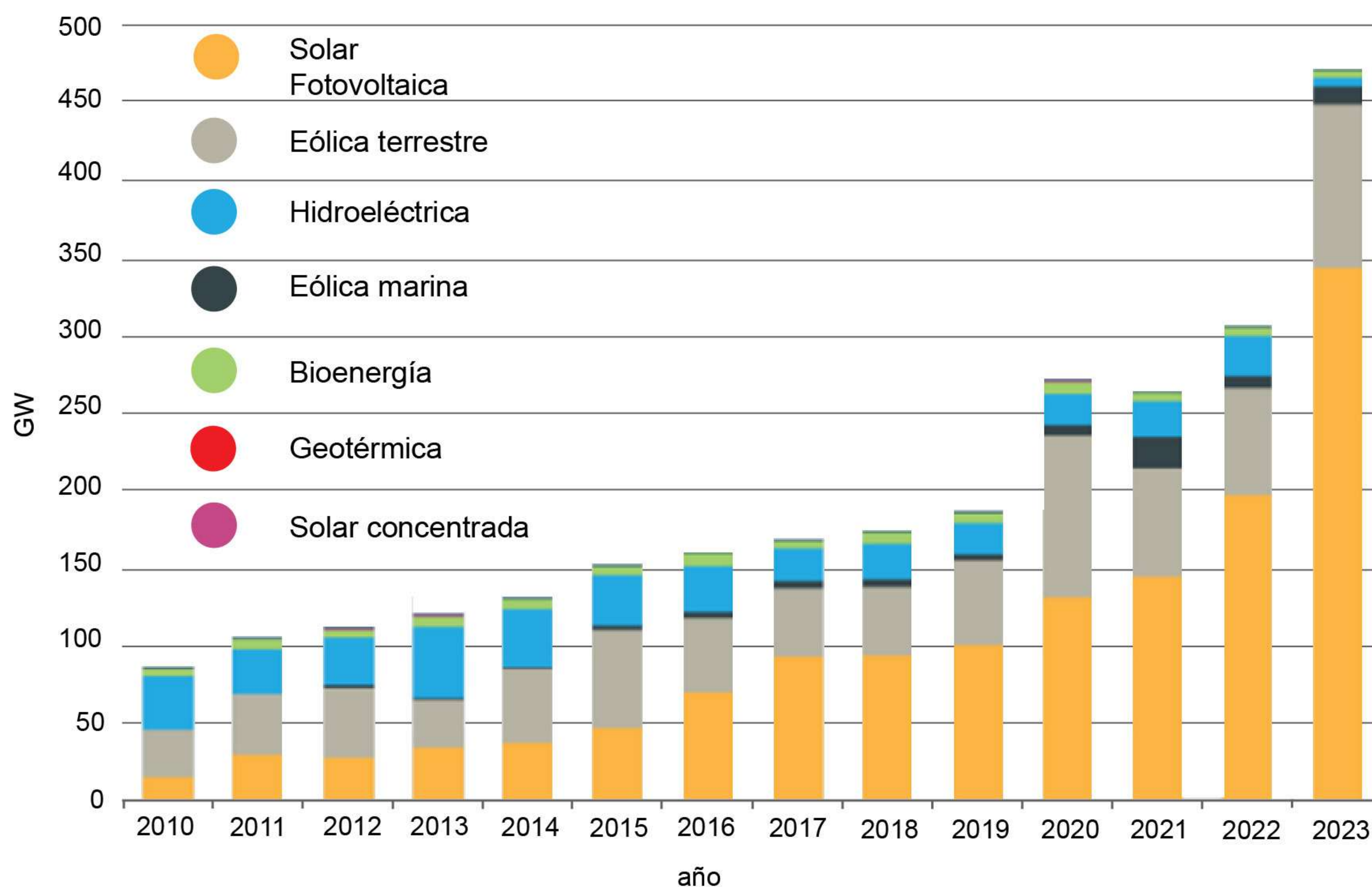


Figura 1. Estadística global de sistemas renovables de conversión de energía ^[4].



Figura 2. Reciclaje sostenible de basura electrónica. Imagen generada con la asistencia de inteligencia artificial (DALL·E, OpenAI, 2025).

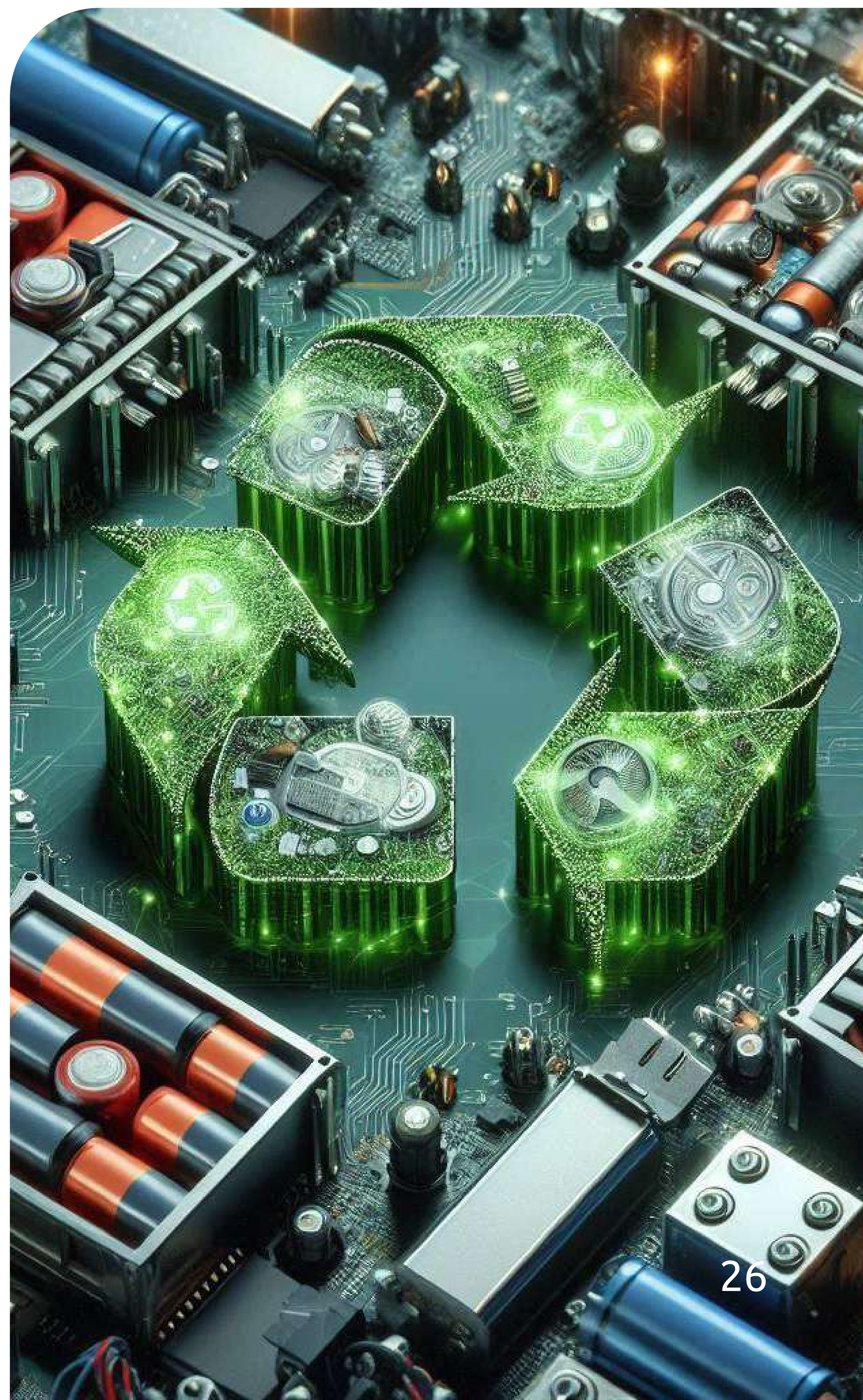
¿El mundo recicla? De acuerdo al reporte de Global E-waste 2024, se recicla menos de un 25 % de la basura electrónica. La razón es una combinación de falta de innovación en las tecnologías de reciclaje, siguen siendo muy costosas energética y económicamente, así como falta de adecuación de las regulaciones y normativas, pues parecen laxas ante la magnitud del problema. Sumado a esto, es necesario un cambio significativo en el comportamiento de las grandes corporaciones y de las personas consumidoras. Tiene su costo ambiental, económico y social, perseguir el último modelo del dispositivo del momento.

Un caso emblemático que ha despertado el debate sobre la duración de los productos es el de la bombilla de Livermore, California, que lleva encendida más de 120 años. Este ejemplo fue retomado en el famoso documental Comprar, tirar, comprar^[5], el cual plantea la posibilidad de que algunos productos estén diseñados para fallar antes de lo necesario, una estrategia conocida como “obsolescencia programada”. El caso es que los focos ya no durarían 120 años como antes, sino apenas 1,000 horas. Esto aseguraba que las personas tuvieran que comprar más bombillas con más frecuencia. ¿Una decisión

empresarial o un complot cuidadosamente calculado? El documental no lo aclara, pero sí lanza la duda con fuerza.

A partir de ahí, no es difícil mirar alrededor y empezar a sospechar. ¿Por qué una impresora se bloquea si detecta un cartucho viejo? ¿Por qué hay celulares y tabletas que ya no aceptan actualizaciones apenas dos años después de su lanzamiento? Tal vez no hay una conspiración universal, pero hay algo que no huele bien en un mundo donde reparar es más caro que reemplazar, y donde la basura electrónica crece como una sombra que nadie quiere ver.

Lo cierto es que cada vez que cambiamos de celular, tablet, laptop o consola, estamos generando toneladas de basura electrónica. Aparatos llenos de cables, metales, plásticos y químicos que no desaparecen por arte de magia. Y lo peor, muchos terminan en vertederos de otros países o contaminando ríos y suelos. Todo porque, quizá, solo quizá, alguien decidió que era mejor que compres otro aparato antes de lo necesario.



Así que la próxima vez que se te descomponga algo, antes de correr a comprar lo último en tecnología, pregúntate: ¿realmente lo necesito o estoy cayendo en el juego de “comprar, tirar, comprar”?

Si seguimos cambiando aparatos como si fueran calcetines, el problema no será que se acabe la tecnología; sino que nos ahogue la basura que dejamos atrás.

En México, la academia une esfuerzos para innovar en las tecnologías de reciclaje de la basura electrónica, principalmente de aquella relacionada con las baterías de iones de litio. En proyectos financiados por la UNAM, el TecNM y la SECHITI pretendemos evaluar no tan solo la recuperación de los metales críticos, sino también el reensamble de las baterías con los materiales recuperados. Estamos optimistas de que contribuiremos con protocolos de mejores prácticas en centros de reciclaje, así como en la formación de profesionistas que le apuesten a que la basura electrónica no es basura, sino un medio para contribuir con negocios sustentables. 🌱

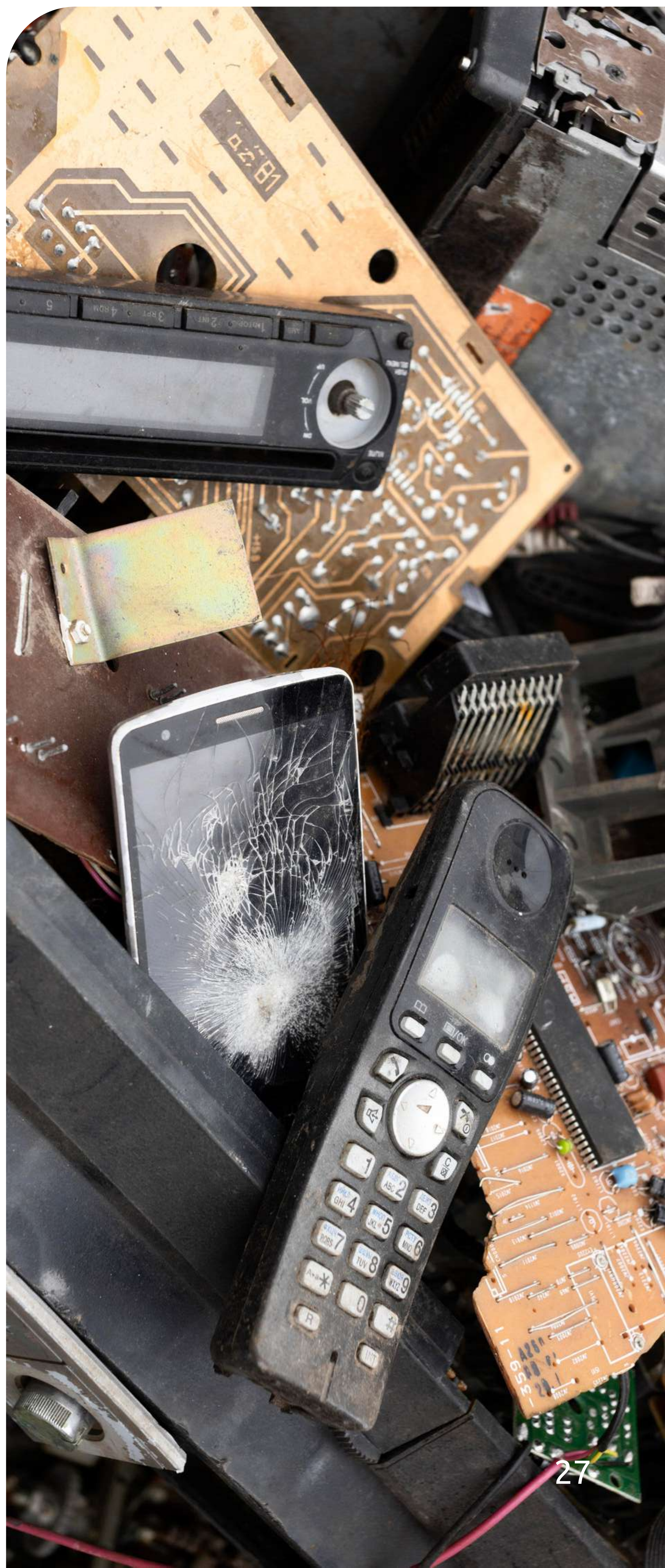
Lecturas recomendadas

Si te interesa conocer más sobre la basura electrónica, sus consecuencias y cómo ser un consumidor más consciente, te recomendamos estas lecturas:

- *¿Qué hacemos con la “basura electrónica”?* – Greenpeace México (2021). <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/10571/que-hacemos-con-la-basura-electronica/>
- *El impacto de la obsolescencia programada* – Fundación Aquae (2024). <https://www.fundacionaquae.org/impacto-ambiental-obsolescencia-programada/>
- *¿Por qué el reciclaje de aparatos electrónicos es tan importante para el planeta?* | National Geographic (2022). <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/05/por-que-el-reciclaje-de-aparatos-electronicos-es-tan-importante-para-el-planeta>

Referencias

- [1] Human Rights Watch. (2024, julio 10). *Mining for the energy transition needs to respect human rights*. <https://www.hrw.org/news/2024/07/10/mining-energy-transition-needs-respect-human-rights>
- [2] Global E-waste Statistics Partnership. (n.d.). *Global E-waste Statistics*. <https://globalewaste.org/>
- [3] IEA (2023), *Global EV Outlook 2023*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>, Licence: CC BY 4.0
- [4] IRENA (2024), *Renewable power generation costs in 2023*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Sep/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2023.pdf
- [5] Prado, C. (director). (2010). *Comprar, tirar, comprar [Documental]*. Article Z, Arte France, Media 3.14, RTVE. <https://www.youtube.com/watch?v=Hf81pN2KPNw>



Paco Vende naranjas Rojas y Tomates

Manira Elena Narvaez Saucedo

Ya casi es hora de ir a casa. Estoy deseando llegar y recostarme en mi cama suave. Pero entre el sueño y el aburrimiento que me cargo, solo alcanzo a ver el reloj colocado sobre el pizarrón. Mi sonrisa se apaga un poco: aún falta una hora y media encerrada entre cuatro paredes con mis compañeros. Todavía queda la clase de Física.

Miro por la ventana, cruzando los dedos para que la profesora no aparezca. Pero no..., ahí está, bajando de su furgoneta negra, con su maletín al hombro —ese maletín que parece tener desde que estaba en la universidad— y ese montón de papeles que lleva a todos lados. Aunque debo admitirlo, la profe siempre llega con buena actitud. Se nota que le encanta enseñar. Nos enseña experimentos curiosos, ejemplos divertidos y hasta chistes y anécdotas de cuando ella también estaba en la prepa aprendiendo lo que ahora nos enseña.

La profesora entra y nos dice alegremente: —¡Por fin les enseñaré termodinámica! ¡Les enseñaré a calcular cosas maravillosas con una simple ecuación!

Todos, un poco sorprendidos por su entusiasmo, tomamos asiento. La profe dibuja un cubo en el pizarrón y comienza a inventarle propiedades físicas. Nos dice que es un cubo relleno de aire, con un volumen de 1 metro cúbico, y que dentro hay un mol de aire.

—Pero, ¿qué es un mol? —pregunta alguien.

—Un mol es una unidad que se utiliza en química para contar muchísimas partículas pequeñísimas, como átomos o moléculas, es decir, las partes que forman la materia y que no podemos contarlas una por una, así que las agrupamos en un número fijo: 6.022×10^{23} , llamado número de Avogadro —responde la profesora—.

Es como una docena, que siempre tiene 12 cosas. Un mol siempre tiene 6.022×10^{23} de esas partículas y se representa con la letra «n».

—¡Ooooooh! —Responde a coro el salón.

Qué interesante definición.

Después menciona algo sobre una «R». ¿Cómo que una «R»? Si «cubo» no se escribe con «R». Pero no, se refiere a una constante llamada «R», la constante de los gases ideales; y su valor es de más o menos $8.314 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ para el caso del aire, y sirve para relacionar la energía de los gases con su movimiento.

Nos dice que el aire dentro del cubo está a 27°C , una temperatura agradable comparada con los 40°C que sentimos en el salón (gracias, cambio climático). Pero nos recuerda que en el sistema internacional de unidades (SI), la temperatura se reporta en Kelvin, así que hay que sumar 273.15 a los 27°C . Eso nos da 300.15 K . En Kelvin parece el fin del mundo; en Celsius, solo es un día caluroso.



De repente, la profesora dice:
—Así que, con esto, sabemos que «Paco Vende naranjas Rojas y Tomates».

Todos nos quedamos con cara de «¿qué?». Algunos se ríen, otros están confundidos. ¿Qué tiene que ver un vendedor de frutas con todo esto?

Entonces escribe la frase en grande y comienza a borrar, dejando solo las iniciales de cada palabra: $PV = nRT$.

¡Qué cosa más chula! La primera ecuación de termodinámica que veo en mi vida. No sé qué significa, pero suena genial; y resulta que es más fácil de lo que pensaba. Solo tenemos que sustituir los valores de las propiedades físicas que nos había dado del cubo del pizarrón: «n», «R» y «T», para calcular a «Paco» que es la presión (P).

Sustituimos todo y ¡tuuuiin! Como con una varita mágica, despejamos la «P» y nos da un resultado de aproximadamente 2495.4 pascales (Pa). Lo cual se puede entender como la cantidad de fuerza que ejercen las moléculas sobre la superficie de las paredes del cubo. ¡Sorprendente! Podemos calcular cómo esas

partículas invisibles empujan desde dentro, como un grupo desorganizado de personas queriendo salir de una habitación. Esa ecuación me hizo sentir superintelectual.

La clase casi termina. Faltan 15 minutos, así que la profe dibuja rápido unos cubos de colores, que forman una casita coqueta (¡muy creativa la cosa!), y lanza datos de volumen, moles, temperatura... y, claro, la «R», que no cambia porque todos los cubos tienen aire. Mira el reloj y sale volando, como si hubiera olvidado la ropa tendida y comenzará a llover.

En casa, unas horas más tarde, después de comer y relajarme un rato, me siento con mi libreta, lista para iniciar la tarea del día. Calcular la presión en los cubos que la profe dibujó en el pizarrón. Pero al llegar al último cubo, me doy cuenta de algo raro.

—¿Dónde está la temperatura?! —digo en voz alta, como si alguien me fuera a contestar.

Reviso mis apuntes, miro la foto que tomé del pizarrón (sí, tomé foto por si acaso), y nada. ¡Justo el dato que necesitaba para usar la fórmula pegajosa de Paco Vende naranjas Rojas y Tomates!

—¿Por qué Paco mejor no vende toronjas? —pienso—. ¿A quién le gustan los tomates?

A mí sólo me gustan cuando están en la pizza..., pero, bueno, ese no es el punto aquí.

Estoy cerca de rendirme, pero entonces recuerdo las palabras que en algún momento la profe nos dijo: «¡La ciencia es para resolver misterios!». Así que decidí hacer lo que haría cualquier persona en apuros: preguntarle a la inteligencia artificial (IA).

Abro mi computadora, entro al chat y escribo.

—Hola, ¿cómo puedo determinar la temperatura si me faltan dos datos en la fórmula $PV = nRT$?, no tengo la presión ni la temperatura.

—Para eso necesitas usar un método numérico —me responde el chat—.

¿Un qué? ¿Método numérico? ¿Eso es como usar una calculadora mágica?

Me enreda un poco, pero como soy alguien bastante determinada, sigo preguntando.

—¿Qué es un método numérico?

La IA explica que usar métodos numéricos es como adivinar con inteligencia: usas pistas para acercarte poco a poco a la respuesta correcta. Esas pistas pueden ser cosas que ya sabes o puedes suponer, como el valor de la presión o la temperatura en este caso. Aunque claro, los métodos numéricos también te ponen límites. No puedes inventarte cualquier número al azar. Tienes que seguir ciertas reglas, como las ecuaciones y condiciones que deben cumplirse. Es decir, puedes jugar a adivinar, pero sin hacer trampa.

Así que miro de nuevo la foto del pizarrón, miro la casita, e imagino. ¿Y si esa casita fuera mi habitación? ¿Qué temperatura tendría adentro?

—Dime la presión atmosférica de referencia común en una casa en Pascales— le pregunto a la IA—. Me responde que es de 101,325 pascales.

—¡Perfecto! —pienso—. Ya tengo una pista real, una especie de regla que puedo usar como límite. No tenía más ecuaciones ni condiciones extra, pero sé que no quiero pasarme de esa presión. Esa es mi referencia: la «regla del juego». ¡Ahora tengo todos los datos para calcular la temperatura! Presión; 101,325 pascales; volumen; 0.5 m^3 ; número de moles: 1 mol, y la constante R : $8.314 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$.

Así que, recordando otra vez la frase pegajosa «Paco Vende naranjas Rojas y Tomates», esta vez, lo que quiero saber son los tomates, es decir, la temperatura. Hago el cálculo... y ¡boom! Me salió un número gigantesco: 6093.63 Kelvin, que en grados Celsius es como 5,820.63 °C. ¡Esto está tan caliente que ni el diablo lo aguanta sin chanclas! Algo está mal.

—¿Y si disminuyo la presión? —pienso—, como si estuviéramos en Marte.

Probé con 700 Pa ^[1], pero el resultado me deja con la boca abierta: 42.1 K. ¡Una temperatura muy por debajo de lo que los seres humanos podemos soportar!

Después se me ocurre otra idea. ¿Y si en lugar de suponer la presión, fijo la temperatura? Imagino que me encantaría que mi habitación estuviera a unos 30 °C, que en Kelvin son 303.15 K. Usé la fórmula al revés para calcular la presión, y me dio 5,040.7 pascales. Eso es una presión bajísima, como si voláramos en la estratósfera..., ¡pero ahí no está a 30 grados!

Es entonces cuando entiendo algo importante: las ecuaciones que resuelves en los métodos no son solo fórmulas para jugar con números. Son reglas que describen cómo funciona el mundo real. No puedes poner cualquier valor, ya que, si lo haces, te alejas de la realidad. Así que, en resumen, aprendí que un método numérico no es solo una forma de adivinar. Es una herramienta poderosa que te permite encontrar respuestas de forma iterativa; respuestas que debemos evaluar si son congruentes con la realidad o no, pero siempre dentro de ciertos límites. Es como tener un superpoder, pero uno que solamente funciona si lo usas con sabiduría.

Si quieres conocer más sobre diferentes métodos numéricos, [da clic aquí](#).

Tal vez aún no sé exactamente para qué me servirá todo esto, pero ahora sé que, si algún día quiero diseñar una casa más fresca, entender cómo funciona el aire acondicionado o simplemente no derretirme en verano, voy a necesitar saber cómo plantear bien mis reglas y mis límites para obtener las respuestas que necesito. Y todo eso gracias a un método numérico.

No fue magia, pero se sintió como si lo fuera, porque aprendí algo nuevo que despertó en mí una curiosidad enorme por seguir usando mis poderes para encontrar respuestas lógicas en la vida diaria. 🌞

Lecturas recomendadas:

- García, L. (2011). *De la máquina de vapor al cero absoluto*. México, DF, Fondo de Cultura Económica, 29-38.
- Tippens, P. E., Grycuk, E. R., Aguilar, A. S., & Bonilla, J. L. L. (2007). *Física. Conceptos y aplicaciones*.
- Rigaud Téllez, N., & Blanco Bautista, R. (2021). *Métodos numéricos: una metodología para su aprendizaje con un enfoque digital (1ª ed.)*. Facultad de Estudios Superiores Aragón.

Referencias

- [1] Solís García, J. (2015). *Las atmósferas de los planetas del sistema solar*. Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid (pp. 385-407). Agencia Estatal de Meteorología. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/2008>

Jóvenes talentos: ¿por qué y para qué estudiar Ingeniería en Energías Renovables?

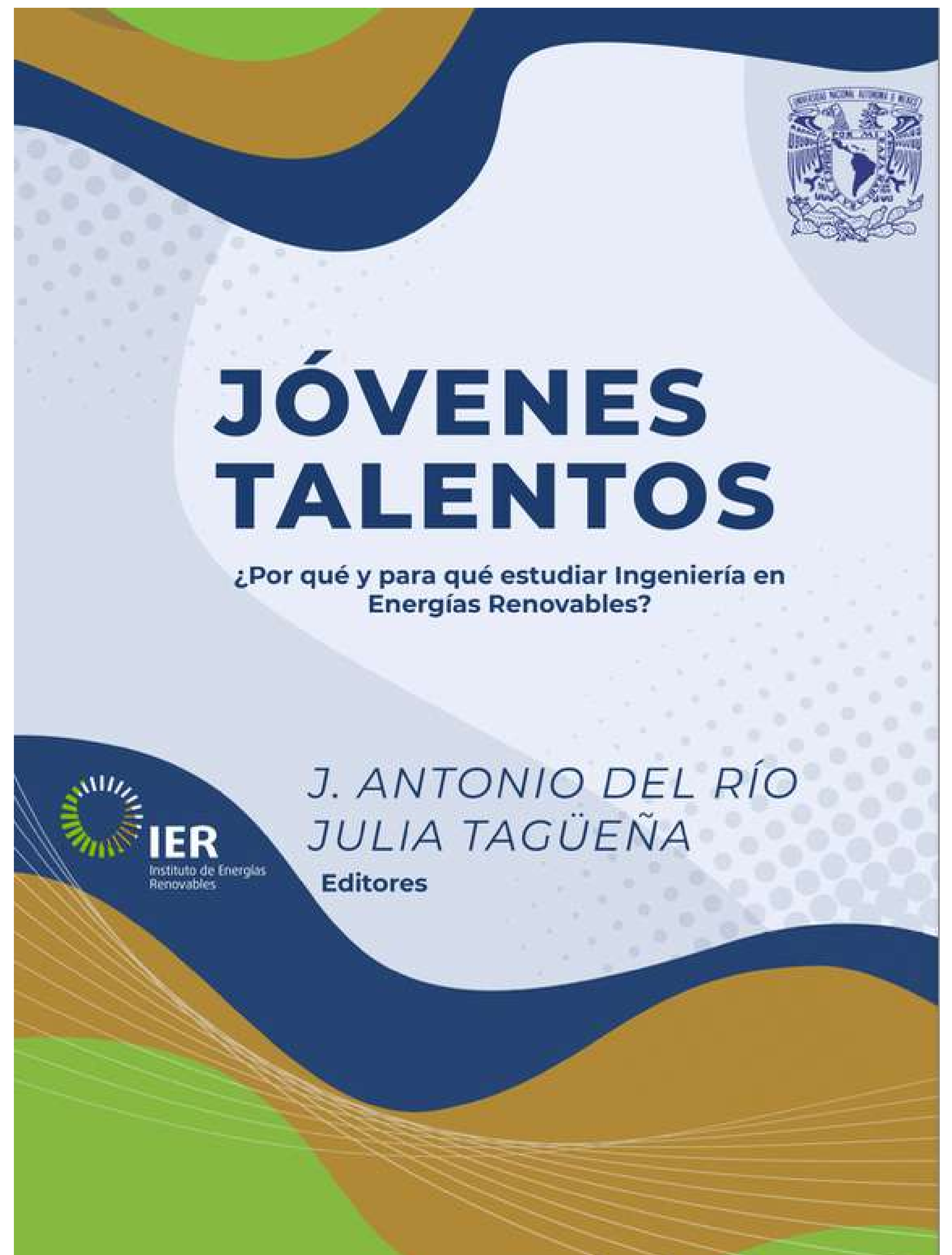
Rubi Denise Garcia Martinez

El libro *Jóvenes talentos: ¿por qué y para qué estudiar Ingeniería en Energías Renovables?*, editado por Jesús Antonio del Río Portilla y Julia Tagüeña Parga, es una recopilación de textos escritos por jóvenes, que, para ese entonces, recién comenzaban la carrera de Ingeniería en Energías Renovables en el Instituto de Energías Renovables (IER) de la UNAM.

A través de experiencias propias, este libro busca hablar y dar respuestas desde una perspectiva joven y honesta a una de las decisiones más complejas que enfrentamos al concluir el bachillerato: qué carrera estudiar y, sobre todo, cómo encontrar una vocación que podamos amar y ejercer con sentido.

A partir de ensayos personales y reflexivos, las y los autores comparten no solamente su elección profesional, sino también sus historias, inquietudes y sueños. La riqueza del libro se encuentra, precisamente, en que no fue escrito por expertos, sino por jóvenes que, como muchos de sus lectores, se encontraron frente a un dilema imprescindible, eligiendo caminar hacia un futuro con energía limpia, tecnología responsable y justicia social.

Los estudiantes, en medio de la pandemia por COVID-19, mientras platican acerca de cómo fue su elección e ingreso a su carrera electa, relatan sobre temas importantes que durante el desarrollo de sus materias reflexionaron: el papel de la energía en el desarrollo social, la sustentabilidad, la equidad de género y la pobreza energética (textos elaborados como parte de la materia de Energías Renovables y Sociedad, en combinación con el curso de Redacción Técnica).



Lo más valioso de esta lectura es que propone una visión sistémica de la realidad, con un fuerte compromiso por el cambio social, el cuidado del planeta y el bienestar colectivo.

Las historias personales de quienes escriben se convierten en faros que pueden orientar a otras personas jóvenes en la búsqueda de sentido y propósito, no solo académico, sino trascendental.

El libro contagia entusiasmo, esperanza y amor por una ciencia que busca servir a las personas y al planeta.

Lecturas como esta resultan esenciales hoy más que nunca; *Jóvenes talentos* ofrece una guía inspiradora, realista y humana para quienes están en el proceso de elegir qué estudiar.

También es un llamado a pensar que cada carrera debería ser una decisión desde el amor, el compromiso y la posibilidad de transformar el entorno desde el conocimiento. 🌱

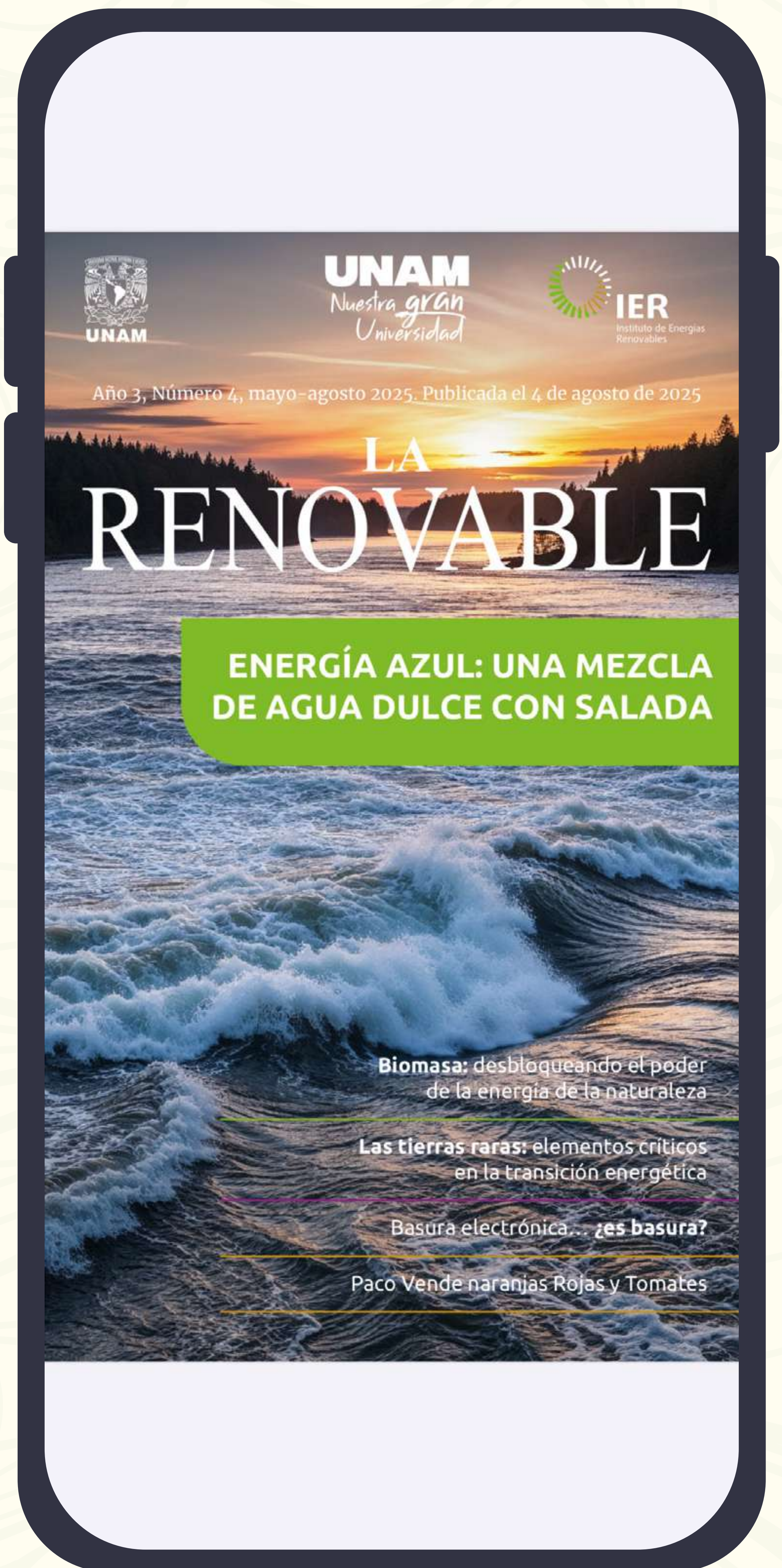
Pueden encontrar el libro en este enlace: <https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/3625>



UNAM
Nuestra *gran*
Universidad



Suscríbete La Renovable



Escanea es código QR y recibe

La Renovable

en tu correo electrónico



Privada Xochicalco S/N, Col. Centro, Temixco, Morelos, México, C.P. 62580