



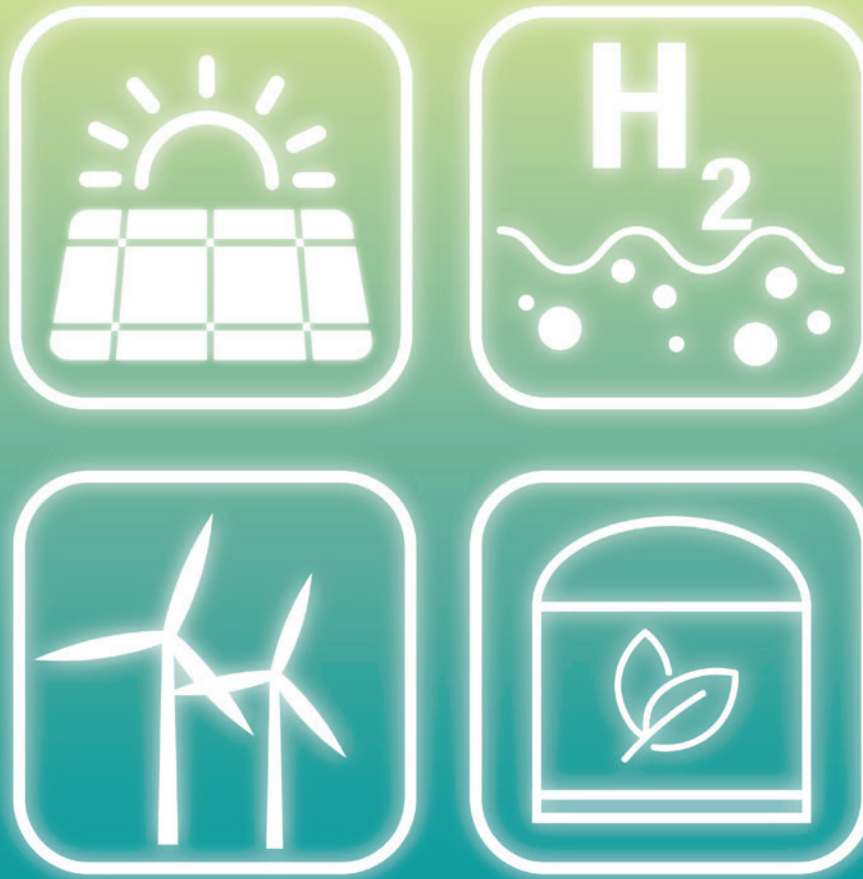
# Nuevos materiales para la generación, almacenamiento y ahorro de energía

La Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) investiga de manera activa la generación e implementación de tecnologías para una sociedad más sostenible, mediante la innovación en materiales y procesos que devienen en ahorros y avances para la generación o el almacenamiento de energía. Cinco personas del profesorado de la UAM nos comparten los detalles de sus investigaciones punteras a nivel nacional.

## **Materiales catalíticos sustentables para la producción de biocombustibles**

La humanidad debe proveerse de alguna fuente de energía para crear sus propios satisfactores. En un principio, la leña y el carbón eran recursos de energía esenciales para cocinar o tratar metales. Después, los aceites de origen animal –en especial el proveniente de las ballenas– fueron los más demandados como combustibles; esto propició el crecimiento de prominentes industrias pesqueras que comercializaron este recurso, sobre todo durante los siglos XVI al XIX. Posiblemente, la explotación del petróleo a mediados del siglo XIX evitó la extinción de estos cetáceos. Así, este hidrocarburo se mantiene no sólo como una principal fuente de energía, sino también como materia prima para fabricar aceites lubricantes, telas sintéticas, pinturas, impermeabilizantes, detergentes, ceras, asfalto y –por supuesto– combustibles como gasolinas, diésel, turbosina (combustible para avión) y gas licuado de petróleo (gas LP).

Dichos combustibles constituyen más de la mitad de los productos provenientes del petróleo, por lo que, hasta nuestros días, y según las proyecciones, en los próximos 30 a 50 años, nuestra sociedad seguirá siendo energéticamente dependiente de los combustibles fósiles. Ésta no es una buena noticia, ya que su uso excesivo ha propiciado la presencia de gases en la atmósfera, tales como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), que provocan problemas ambientales, como la lluvia ácida o el aumento de la temperatura de la Tierra. De hecho, si no transitamos hacia fuentes menos contaminantes, el incremento será de casi 5 °C en los próximos 50 años, por lo que



es necesario buscar nuevas fuentes de energía menos contaminantes, como la solar, eólica, geotérmica, mareomotriz y la energía a partir de la biomasa.

En pocas palabras, podemos decir que la biomasa es toda aquella materia derivada de los seres vivos: residuos orgánicos, vegetales y animales, por lo que se considera una fuente renovable, pues es prácticamente inagotable. En el caso de la biomasa de origen vegetal, es preciso entender que durante su crecimiento utiliza CO<sub>2</sub> y, mediante una serie de reacciones en las que interviene la energía solar, se libera oxígeno por medio de la fotosíntesis; en principio, la misma cantidad de CO<sub>2</sub> empleada se estaría liberando en la combustión de la biomasa. Esto tiene muchos beneficios ambientales, además de económicos, pues el empleo de la biomasa como precursor de energía podría generar nuevas fuentes de trabajo debido a los procesos de obtención, recolección y producción.

Los combustibles provenientes de la biomasa pueden ser líquidos (biodiésel, bioturbosina, bioga-

solina y diésel verde) o gaseosos (biometano –biogás– y biohidrógeno). A su vez, dependiendo del origen de la biomasa, se pueden clasificar en:

- *Primera generación:* biomasa comestible; por ejemplo, maíz o trigo.
- *Segunda generación:* en esta generación, se emplearon residuos sólidos agrícolas y material leñoso, debido a que en muchos países la biomasa de la primera generación forma parte de la base principal de la alimentación.
- *Tercera generación:* biomasa proveniente de microorganismos oleaginosos, tales como microalgas, bacterias, levaduras y hongos, los cuales para crecer son capaces de utilizar el doble de CO<sub>2</sub> que lo que se produce en su combustión.
- *Cuarta generación:* biomasa proveniente de microorganismos modificados para producir más aceite, como microalgas o cianobacterias, llamadas también algas verdeazules, las cuales también tienen una alta proporción de aceites.

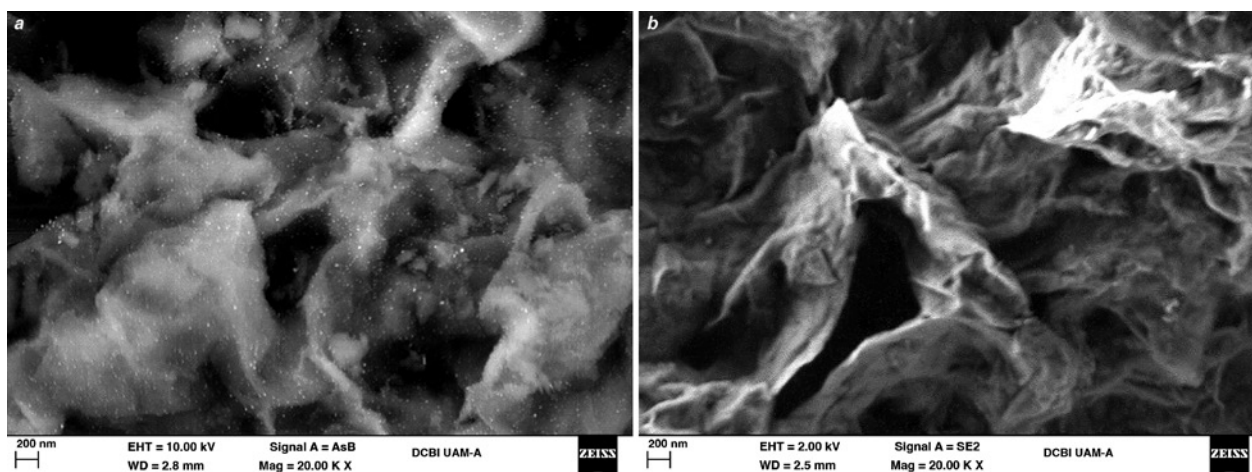
De esta manera, la biomasa se ha convertido en un precursor de hidrocarburos casi semejantes a los encontrados en la refinación del petróleo, pero con un nulo contenido de precursores de contaminantes como el azufre o el nitrógeno. Tal vez en un futuro se diseñarán biorrefinerías que no sólo produzcan biocombustibles, sino también bioplásticos o materia prima para compuestos de mayor valor agregado; incluso las refinerías ya instaladas podrían transitar al procesamiento de esta materia orgánica. Evidentemente, el proceso no es sencillo debido al alto contenido de oxígeno en las moléculas orgánicas de la biomasa, por lo que ocurren múltiples reacciones donde se remueve el oxígeno, por hidroxigenación, en las que interviene un material que ayuda a acelerar y modifica el tipo de productos obtenidos, es decir, un catalizador. En este sentido, los catalizadores empleados deben ser capaces de romper las moléculas contenidas en la biomasa y reorganizarlas hasta obtener hidrocarburos del orden de las gasolinas o del diésel.

En la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), estamos estudiando materiales sólidos abundantes en la naturaleza y que desde los inicios de las refinerías fueron utilizados como soportes o catalizadores para romper grandes moléculas; nos referimos a las arcillas (véase la Figura 1). Modificamos este tipo de material para potenciar sus propiedades catalíticas al incorporar otros metales, los cuales, en nuestro la-

boratorio, han propiciado la transformación de la biomasa a compuestos del orden de la bioturbosina, por lo que esperamos sentar las bases para una transformación de la biomasa a partir de material sustentable.

### ■ Nuevos materiales para reducir el consumo de energía eléctrica

■ Cuando en 1879 Thomas Alva Edison creó la bombilla eléctrica, no se imaginó que sería el precursor de un nuevo estilo de vida; por primera vez en la historia, los seres humanos tendrían la posibilidad de disponer de luz en medio de la oscuridad, pero sin necesidad de combustibles. Esto permitió tener luz durante la noche o en lugares confinados, por tiempos muy prolongados y sin correr el riesgo de un accidente por incendio, lo que potenció la iluminación de ciudades y la comercialización de la luz eléctrica. En ese entonces, hablar de eficiencia de conversión habría sido ilusorio, pero era de sólo 5% y la máxima eficacia luminosa obtenida era de 18 lúmenes por cada watt, pues la mayor parte (98%) de la radiación emitida era en forma de calor y no lumínica. No fue sino hasta 1938 que se comercializó la lámpara fluorescente como sustituto de la bombilla incandescente, con una eficiencia de 20% y una eficacia luminosa de 60 lúmenes por watt, pero con la desventaja de que contenía componentes tóxicos, como el gas de mercurio o xenón.



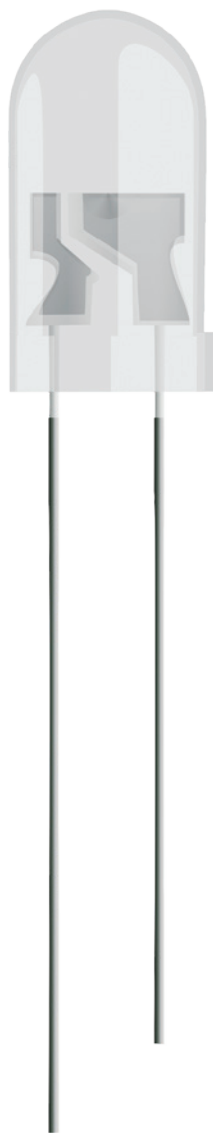
**Figura 1.** Microscopía electrónica de transmisión y barrido (STEM, por sus siglas en inglés): a) una arcilla modificada con óxido de circonio; b) un catalizador de paladio sobre una arcilla modificada con óxido de circonio. Crédito: Laboratorio de Microscopía Electrónica (STEM) en la UAM Azcapotzalco, Deyanira Ángeles Beltrán (responsable del laboratorio) y Emigdio Gregorio Zamora Rodea (doctorante del Posgrado de Ingeniería de Procesos).

Por fortuna, de manera paralela, se estudiaba una nueva fuente de iluminación: los diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés), y para 1960 ya se habían desarrollado adecuadamente para producir luz roja y verde, pero aún se buscaba que emitieran luz azul. El LED azul fue descubierto en 1993 por Isamu Akasaki, Hiroshi Amano y Shuji Nakamura, lo que abrió la posibilidad de generar luz blanca por medio de los LED (WLED, por sus siglas en inglés), con una eficiencia de conversión de 50% y una eficacia de hasta 100 lúmenes por watt. Con este descubrimiento surge la generación de luz blanca en estado sólido basada en los LED de luz azul o ultravioleta, recubiertos de fósforos, para proporcionar iluminación blanca con alta eficiencia, de hasta 300 lúmenes por watt, además de tener menor volumen, durar más y contaminar menos.

Para crear la luz blanca o blanca cálida, que nos recuerda a la luz del fuego o una vela, hay dos formas. La primera es a partir de la mezcla de la luz de tres chips: un chip azul, otro verde y otro rojo (los LED tricolores), caracterizados por tener en el mismo encapsulado el equivalente a tres LED diferentes, cada uno de un color distinto, que entre todos forma un único dispositivo, pero con la desventaja de tener tiempos de vida diferentes, por lo que hay aberraciones de color al degradarse. La segunda manera de obtener luz blanca constituye un hito en la tecnología de iluminación, pues por primera vez permitió modelar —mediante el diseño de nuevos materiales— la tonalidad de la emisión blanca entre más azules o más cálidas. La técnica de iluminación por estado sólido consiste en la combinación de un chip azul o ultravioleta recubierto de materiales luminiscentes o fósforos, los cuales emiten en los colores rojo, verde, azul o amarillo, de manera combinada en un solo material, según los requerimientos de iluminación blanca. Este método permite obtener luz blanca fría o cálida de una temperatura de color específi-

ca y también modular la excitación de los fósforos en la búsqueda de nuevas formas de ahorro energético.

Diversos investigadores de la UAM trabajan arduamente para encontrar nuevos fósforos luminiscentes capaces de crear tonalidades diferentes a las blancas. Últimamente, y gracias a la interdisciplinariedad entre áreas, que permite el formato de investigación de esta universidad, se está comenzando a trabajar en fósforos que emitan en frecuencias de infrarrojo, para la generación de amplificadores de señal en telecomunicaciones. Esto demuestra la relevante relación entre el diseño de materiales y la construcción de tecnologías que favorezcan la reducción del consumo energético en el planeta.



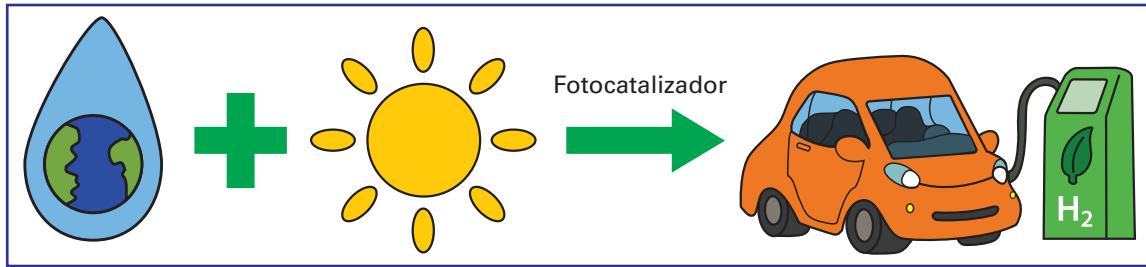
### ■ Producción de hidrógeno a partir de agua contaminada

■ El hidrógeno tiene un gran poder calorífico, casi tres veces superior a los hidrocarburos (gas natural, gasolina, etc.) (Linares y Moratilla, 2007). Es una molécula de gran interés debido a que su combustión sólo produce agua, por lo que se considera una fuente de energía renovable de combustión limpia. Debido a esto, la industria automotriz está interesada en construir vehículos automotores de combustión interna que utilicen hidrógeno en lugar de gasolina o diésel.

Por otra parte, la reacción de combustión del hidrógeno puede ser reversible; es decir, es posible obtener hidrógeno a partir de agua, si se tiene la energía suficiente para romper su enlace químico. A pesar de que el agua es la molécula más abundante en la Tierra, de las casi dos terceras partes de superficie que cubre, aproximadamente sólo 4% es agua dulce y una parte de eso es lo que ocupamos para las actividades humanas. Lo malo es que después de usarla en las industrias, hogares, empresas, cultivos, entre otros, se convierte en agua residual contaminada, lo que genera un grave problema ambiental.

#### ◀ Poder calorífico

Cantidad de energía por unidad de masa que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.



**Figura 2.** Reacción química para la producción de hidrógeno. Los reactivos son agua y luz solar. Crédito: Diego de la Vega.

**Fotocatalizador**

Sustancia que absorbe luz para producir cargas (electrones y huecos) que interactúan con los reactivos en una reacción.

No obstante, con ayuda de un **fotocatalizador** (véase la Figura 2) y la luz solar (que proporciona la energía), es posible descomponer las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno; más aún: si utilizamos el agua residual, podemos degradar los contaminantes presentes en el agua. De esta manera, se atienden dos problemas ambientales importantes: la producción de un combustible renovable limpio (moléculas de hidrógeno) y la descontaminación del agua residual. Esto también ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y producir energía asequible y no contaminante, conforme al séptimo Objetivo de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030 de Naciones Unidas.

El fotocatalizador más estudiado para este tipo de reacción es el platino sobre dióxido de titanio (Pt/TiO<sub>2</sub>); sin embargo, su producción encarece el proceso, y lo mismo pasa con todos los fotocatalizadores que son sintetizados a partir de metales nobles, los cuales son de un precio elevado. Además, solamente absorben luz ultravioleta (menos de 6% de la luz solar que incide en la Tierra). Con el propósito de disminuir los costos y hacer el proceso rentable, la propuesta de nuestro grupo de investigación es utilizar residuos o materiales naturales, como la arena negra (una mezcla de óxidos de hierro), las escorias metalúrgicas (Morales y cols., 2021), entre otros, que además absorban en un mayor rango de ener-

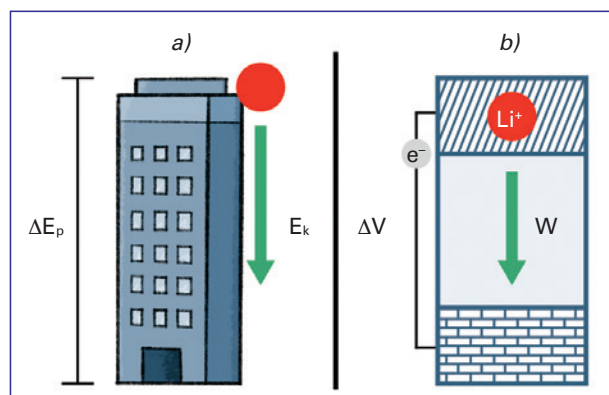


gía (ultravioleta y visible) para aprovechar más la luz solar.

### ■ Materiales para baterías de iones de litio en la transición energética

Durante las últimas décadas, la generación de energía renovable –tanto eólica como solar– ha atraído la atención de la sociedad y la comunidad científica; el almacenamiento de energía, por otro lado, ha tenido un papel secundario no asociado como una parte fundamental en el futuro sostenible. Solamente en los últimos años, con el interés generalizado en los autos eléctricos, y en especial en México con el descubrimiento de los yacimientos de litio, el desarrollo de tecnología para el almacenamiento de energía ha crecido y se ha vuelto un tema recurrente (Tapia y cols., 2020).

Los sistemas de almacenamiento de energía son fundamentales en la transición energética debido a que la generación de energía renovable tiene desventajas intrínsecas: la generación no es continua y, por lo tanto, sólo se puede suministrar energía de manera intermitente; de esta forma, es necesaria la adición de un sistema que pueda acoplar la generación y el consumo. Hay muchos sistemas de almacenamiento de energía, con diferentes métodos de transformación; entre éstos, los sistemas de iones de litio (ion-Li) representan una de las grandes oportunidades de desarrollo.



**Figura 3.** Representación esquemática del proceso de almacenamiento de energía: a) sistema de aprovechamiento de energía potencial; b) batería de iones de litio. [ $\Delta E_p$ : diferencia de energía potencial;  $\Delta V$ : diferencia de voltaje;  $E_k$ : energía cinética;  $W$ : trabajo.] Crédito: Diego de la Vega.

Las baterías de iones de litio son el sistema más avanzado de almacenamiento de energía a pequeña escala. Están formadas por múltiples celdas donde se transforma la energía eléctrica en química, y viceversa. En cada una de estas celdas, compuestas por dos **electrodos** y un **electrolito**, los iones de litio interactúan reversiblemente con los materiales de los electrodos para promover reacciones electroquímicas en los elementos que los componen. Para entender esto de una manera práctica, podemos imaginar que el ion es una pelotita que está en lo alto de un edificio y, como resultado de la gravedad, la pelotita tiene una energía potencial; si se deja caer, esta energía potencial se transforma en energía cinética utilizable. Después, para poder almacenar energía se necesitarían subir más pelotitas a la altura inicial (véase la Figura 3a). En la batería, el ion de litio se encuentra en un electrodo con un alto potencial eléctrico (símil de la energía potencial) y el movimiento del ion a través del electrolito hacia el electrodo de menor potencial transforma la energía química en energía eléctrica (véase la Figura 3b). Para poder generar energía, se aplica una diferencia de potencial mayor para que ahora el ion se mueva en la dirección opuesta.

El reto del almacenamiento de energía a gran escala es enorme, considerando que el promedio de consumo energético mundial nocturno per cápita es de 15.9 kWh (Dale, 2021); las baterías actuales almacenan alrededor de 300 Wh/kg, por lo que para iluminar por la noche una ciudad con un millón de habitantes las baterías deberían ser de 53 000 toneladas. El problema no es sólo la cantidad, sino la naturaleza de los materiales: litio, cobalto, polímeros y aditivos que requieren ser extraídos y procesados. Para almacenar más energía, se debe lograr que el compuesto pueda intercalar más iones de litio, que el proceso dure la mayor cantidad de ciclos sin afectar la estructura química y que los iones puedan viajar a alta velocidad.

Darles estas características a los materiales no es una tarea fácil y requiere esfuerzos multidisciplinarios en el diseño de estructuras y el desarrollo de métodos alternativos para controlar la porosidad de los electrodos. Además, se busca poder escalar

#### ◀ Electrodo

Parte de una celda electroquímica donde se llevan a cabo las reacciones de transferencia de carga; usualmente es conductor electrónico.

#### Electrolito

Disolución que contiene sales y que es capaz de transportar la carga eléctrica mediante el transporte de iones; puede ser sólido, aunque usualmente se encuentra en estado líquido.<sup>a</sup>

estos procesos para producir baterías seguras y eficientes, sin dejar de lado otras características que serán mucho más críticas en el futuro, como la posibilidad de usarlas en procesos de economía circular (Kim y cols., 2019). Para ello, las baterías del futuro deben estar compuestas de otros tipos de materiales más accesibles y abundantes, como sodio o azufre; además, probablemente se requieran otros procesos químicos disruptivos que permitan almacenar más energía.

### El papel de la ingeniería de reactores en la transición energética de México

El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrentamos en el mundo; su impacto en la contaminación ambiental, la disponibilidad del agua y los eventos climáticos extremos es cada vez más evidente. Para hacer frente a este problema, desde hace varios años se ha adoptado un modelo de sostenibilidad, el cual se enfoca en equilibrar el desarrollo económico, social y ambiental para satisfacer las necesidades actuales, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Debido al impacto del cambio climático en México, está en proceso la adaptación a un modelo sostenible mediante la transición energética. Desde la presentación en 2012 de la Ley de la Transición Energética, el objetivo ha sido promover el uso de energías renovables, aumentar la eficiencia energética, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero e incorporar tecnologías bajo una concepción de economía circular. La implementación efectiva de esta legislación demanda un cambio fundamental en la forma en que se produce, almacena y consume energía, con el fin de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y avanzar hacia la sostenibilidad.

En términos del proceso de transición energética, es necesario tener un enfoque integral que involucre a diferentes agentes y niveles de gobierno, así como a la sociedad civil, el sector privado y la academia. Desde el ámbito de la investigación científica, actualmente se trabaja en el diseño de tecnología para generar o almacenar energía renovable, eficientizar energéticamente las tecnologías convencionales, o

bien reducir la contaminación que generan estas tecnologías, todo con el objetivo de minimizar el impacto del cambio climático en México.

La ingeniería de reactores es una rama de la ingeniería química que integra la termodinámica, la física, la química, la biología y las matemáticas para diseñar y optimizar tecnologías que estén en sintonía con los objetivos de la transición energética. En particular, la ingeniería de reactores es la disciplina encargada de diseñar sistemas de generación de energía a partir de fuentes renovables, como la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica y biomasa, entre otras. También se enfoca en el desarrollo de tecnologías para almacenamiento y distribución de energía, así como en la mejora de la eficiencia energética, la minimización de la contaminación y el uso óptimo de los recursos en los procesos productivos actuales relacionados con diferentes industrias, como la farmacéutica, petroquímica, de alimentos, entre otras (véase la Figura 4).



**Figura 4.** La academia (representada como átomo) desempeña un papel crucial en la transición energética global. Es importante destacar que la colaboración entre la academia, el gobierno, la sociedad civil y el sector privado es indispensable para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. Crédito: Diego de la Vega.

La UAM cuenta con el Laboratorio de Ingeniería de Reactores Catalíticos, que utiliza un **enfoque multiescala** para diseñar diversos tipos de tecnologías a partir de investigaciones de ciencia de frontera en varios temas de interés para la transición energética, como la producción de biocombustibles a partir de aceites usados de cocina, la generación de **vectores energéticos** a partir de dióxido de carbono, y el uso de la energía solar para el tratamiento de contaminantes en el agua. También se enfoca en la producción de metabolitos de interés para la industria de alimentos mediante microorganismos que se nutren de residuos agroindustriales, así como en la producción de compuestos de interés para la industria petroquímica con tecnologías más eficientes energéticamente y menos contaminantes. Aunado a lo anterior, actualmente se están investigando las baterías para almacenamiento de energía, las cuales son cruciales para el uso de energías renovables en aplicaciones móviles, en la red eléctrica y en la industria automotriz. En resumen, los proyectos de este laboratorio han generado conocimiento de frontera y han contribuido a proponer diseños tecnológicos para construir un futuro sostenible.

#### José Antonio Colín Luna

UAM Azcapotzalco.  
jacl@azc.uam.mx

#### Yolotzin Medina Velázquez

UAM Azcapotzalco.  
dyolotzin@azc.uam.mx

#### Ariadna Alicia Morales Pérez

UAM Iztapalapa.  
amoralesp@xanum.uam.mx

#### Guadalupe Ramos Sánchez

UAM Iztapalapa.  
gramos@xanum.uam.mx

#### Carlos Omar Castillo Araiza

UAM Iztapalapa.  
coca@xanum.uam.mx

#### Mario A. de Leo Winkler

UAM Rectoría General.  
madeleowinkler@correo.uam.mx

#### Enfoque multiescala

Transferir información de la escala molecular a la escala industrial.

#### Vector energético

Compuesto que almacena energía que posteriormente será liberada.

#### Lecturas recomendadas

Dale, S. (2021), *BP statistical review of world energy*, Londres, BP Plc.  
Kim, T. *et al.* (2019), "Lithium-ion batteries: outlook on present, future, and hybridized technologies", *Journal of Materials Chemistry A*, 7(7):2942-2964.  
Linares I. y B. Moratilla (2007), *El hidrógeno y la energía*, Madrid, Asociación Nacional de Ingenieros ICAI.

Morales-Pérez, A., R. García-Pérez, C. Tabla-Vázquez y R. Ramírez-Zamora (2021), "Simultaneous Hydrogen Production and Acetic Acid Degradation by Heterogeneous Photocatalysis using a Metallurgical Waste as Catalyst", *Topics in Catalysis*, 64:17-25.  
Tapia, C., M. Á. Oliver-Tolentino, I. González y G. Ramos-Sánchez (2020), "Nobel Prize in Chemistry 2019: Ion-Li batteries", *Educación Química*, 31(1): 12-22.

José Antonio Colín Luna escribió la sección "Materiales catalíticos sustentables para la producción de biocombustibles"; Yolotzin Medina Velázquez, "Nuevos materiales para reducir el consumo de energía eléctrica"; Ariadna Morales Pérez participó con "Producción de hidrógeno a partir de agua contaminada"; Guadalupe Ramos Sánchez, "Materiales para baterías de iones de litio en la transición energética"; y Carlos Castillo Araiza contribuyó con la sección "El papel de la ingeniería de reactores en la transición energética de México". José Antonio Colín Luna y Mario A. de Leo Winkler coordinaron el artículo.