

Nanotecnología y el cambio del paradigma energético

Elena León Magaña*

El crecimiento de la población y aumento anual del consumo per cápita de energía (cuadro 1) han derivado en daños al medio ambiente y su traducción en el problema del cambio climático. Aunado a ello, la finitud de los hidrocarburos y el impacto ambiental que afecta la resiliencia del planeta han puesto la atención de gobiernos y universidades en el tema de las energías alternativas, de este modo, se ha comenzado a destinar presupuesto y recursos humanos

CUADRO 1. Consumo de energía por habitante.

Año	CONSUMO KW/ HABITANTE
1970	416.8
1975	286.5
1980	754.4
1985	916.6
1990	1,096.7
1995	1,234.6
2000	1,567.2
2005	1,629
2006	1,666.1
2014	1,765

Fuente: Elaboración propia con base en SENER, sin fecha.

para la investigación de este tema. El tránsito hacia un nuevo paradigma es sinuoso, pues todas las aristas que de él derivan encuentran un contexto dialógico complejo en el que intervienen varias disciplinas y actores.

Transitar a un nuevo paradigma energético, en el contexto de los hábitos actuales de consumo de energía, dibuja un escenario complicado, ya que muchas de las energías renovables aún se encuentran en proceso de prueba o con tecnologías que no satisfacen demandas idóneas de almacenaje, distribución o constancia en el suministro. Por otro lado, las reservas de hidrocarburos se han convertido en manzana de la discordia entre las principales potencias económicas mundiales. Asimismo, los efectos del calentamiento global se han mostrado inminentes en distintas regiones del mundo, incidiendo en temas como la alimentación y la salud.

De ahí la urgencia de llegar a un acuerdo mundial para evitar pasar la frontera de los 2° C, esto es, de una presencia mayor al rango de las 350 – 450 partes por millón.

El consumo mundial de energía durante el 2014 fue de 3,065.5 millones de toneladas equivalentes en petróleo, de las que México consumió 77.2

* Colaboradora en la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM, e integrante del Seminario Tecnologías Filosóficas de la FFyL, UNAM. Correspondencia: (leonelena@gmail.com).

CUADRO 2. Consumo final de energía por sector 2015 en México.

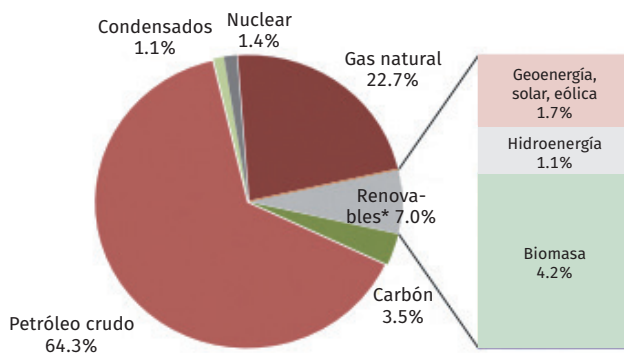
CONSUMO ENERGÉTICO FINAL, 2015	CANTIDAD EN PETAJOULES
Residencial	754.144
Comercial	134.939
Público	32.395
Transporte	2,246.390
Autotransporte	2,051,856
Industria	1,568.481
Siderurgia	212,466

Fuente: Elaboración propia con base en SENER, sin fecha.

millones de toneladas equivalentes¹ (véase la estructura del consumo en el cuadro 2); en tanto que la producción mundial de energía fue de 4,220.6 millones de toneladas, de las cuales corresponden a México 137.1 (BP, 2015).

La producción de energía primaria en nuestro país en 2014 fue de 8,826.145 petajoules. Las fuentes principales fueron los hidrocarburos, seguidos de las energías renovables.² El 64.3% correspondió a petróleo crudo (SENER, 2015). Véase la figura 1.

FIGURA 1. Estructura de la producción de energía primaria en México, 2013 (petajoules).



Fuente: Sistema de Información Energética, Sener.

* Incluye grandes hidroeléctricas.

Nota: Todos los porcentajes son respecto al total de la producción de energía primaria.

- 1 El consumo de energía por habitante, para el caso de México, se situó en mil 765 kilowatts (CIA, 2015), mientras que el Censo de Población y Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística, contó 112 millones 336 mil 538 habitantes en 2010, lo que implicaría un consumo aproximado de 305.73 petajoules anuales.
- 2 Las energías renovables son entendidas como aquella energía que proviene de recursos que son renovables naturalmente a escala humana, tales como la luz del Sol, el viento, la lluvia, las mareas, las olas y el calor geotérmico. Estas pueden remplazar a los combustibles en cuatro áreas distintas: generación de electricidad, calentamiento o enfriamiento del aire y el agua, combustibles para motor y energía rural (Ren21, 2014).

Según Ren21, en 2014 el desarrollo de la energía renovable a nivel mundial durante ese año fue positivo, ya que se extendió en capacidad instalada y energía producida; y por otro lado, aumentaron las inversiones netas para plantas de energía de combustibles fósiles. Lo cual significa que no se está apostando por completo al uso de las energías renovables, sino que se busca un programa combinado.

También indican que la energía renovable representó un 19 por ciento del consumo mundial de energía total en 2013, y el crecimiento más rápido, así como el crecimiento más sustancial en la capacidad renovable se reflejaron en el sector eléctrico donde las tecnologías dominantes fueron: eólica, solar fotovoltaica y la energía hidráulica. Asimismo, la producción de biocombustibles para el sector transporte aumentó. En el caso de México, las energías renovables que más figuraron en la matriz energética nacional fueron la hidroenergía, la geoenergía, la solar, la eólica y el biogás; en ese orden.

Plan de transición energética gubernamental

En el marco de las reformas energéticas promovidas recientemente por el gobierno de México, se ha desarrollado una estrategia de transición energética que se enfoca, sobre todo, en el impulso de la inversión privada para el desarrollo del sector energético. Al respecto, el Lic. Efraín Villanueva Arcos, director general de Energías Limpias de la Secretaría de Energía (SENER), sostiene que dicha transición está fincada en la *Estrategia nacional de transición energética y aprovechamiento sustentable de la energía*, misma que da énfasis al financiamiento de la transición bajo los lineamientos definidos en la Ley de Aprovechamiento de las Energías Renovables. Según Villanueva, se ha trabajado mucho en el marco regulatorio, legislativo y logístico, mencionando, por ejemplo, en el Programa Sectorial del sector de Energía, el Programa Especial de Aprovechamiento de las Energías Renovables, la Ley de Industria Eléctrica, o la Ley de Transición Energética. Indicó en entrevista que el objetivo de todos estos documentos y programas es el de reducir paulatinamente las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles, para así transitar hacia un esquema de bajas emisiones, esto es, de bajo carbono. En dicho sentido se espera que para 2024 exista un tope de uso del 65 por ciento de las energías fósiles.

En cuanto a las estrategias que se están desarrollando para transitar al uso de energías renovables, dijo que hay cinco objetivos en el Programa Especial de Aprovechamiento de Energías Renovables: incrementar la inversión pública y privada en la generación, ampliación y construcción de la infraestructura para la interconexión, en este caso de energías renovables; adecuar la planeación para acelerar la inversión en proyectos competitivos e incubar nuevos; adecuar el entorno de financiamiento; establecer políticas transparentes para los procesos regulatorios, y, asegurar un nivel de inversión adecuando el entorno de financiamiento y fiscal.

Entre los agentes que la SENER está considerando en dicha transición está el Consejo Consultivo de Energías Renovables, mismo que está conformado por instituciones públicas, instituciones académicas y por el sector privado. Dicho consejo ya tuvo su primera sesión en junio de este año. Consideró que existe una amplia participación de agentes, como la Asociación Mexicana de Energía Eólica, la Asociación Solar de México, la Asociación Mexicana de Energía Solar, las Asociaciones de Biomasa, la Comisión Federal de Electricidad, instituciones nuevas como el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), la Comisión Reguladora de Energía, así como la Universidad Nacional Autónoma de México a través de distintas dependencias e institutos.

Entre los proyectos más destacados para dar inicio a la transición energética, señaló el Inventario Nacional de Energías Renovables, el cual ya puede encontrarse en Internet, y permite tener un panorama sobre el potencial energético del país según regiones y características específicas: irradiación solar, fuerza del viento, dónde se concentra la biomasa, etcétera. Otro de los proyectos en curso es la elaboración de un atlas de zonas factibles, donde se combinan elementos de potencial e infraestructura existente, en términos de líneas de transmisión y distribución, así como otro tipo de infraestructura.

Otros de los proyectos están relacionados con el tema de la intermitencia del suministro en cuanto a las energías solar y eólica, pensando en los respaldos y el tránsito a la confiabilidad. Agregó que se están desarrollando pruebas para mezclar etanol con gasolinas y reducir emisiones, y además se está contemplando el uso de biodiesel y bioturbosina, así como el aprovechamiento de las plantas de tratamiento de agua para la producción de energía. Aunado a ello, se está trabajando en conjunto con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la cooperación Alemana, en el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en las ciudades para producir energía.

En el caso de la geotermia indicó que se tienen proyectos puntuales para aprovechar la geotermia de baja entalpía,³ con la intención de enfocarla a la producción y aporte de frío o calor en distintas regiones a partir del uso de bombas geotérmicas.

En cuanto al tema de la dependencia tecnológica, expresó que la Ley de la Industria Eléctrica incluye un capítulo donde se definen temas de las cadenas de valor, así como una mayor integración nacional y de las empresas locales en la generación de energía propia. Existen grupos de trabajo que están trabajando en coordinación con la Secretaría de Economía para identificar oportunidades de proveeduría local para los parques eólicos, granjas solares y elementos tecnológicos hacia el crecimiento en la generación de energía limpia. Señaló que se han destinado recursos para la creación de

3 La entalpía es una medida utilizada en termodinámica que expresa la cantidad de energía cedida o absorbida.

centros mexicanos de innovación en energía; tres de ellos están operando y están dedicados a la energía geotérmica, eólica y solar. Al interior de ellos se han desarrollado alianzas con la academia y empresas hacia el desarrollo de tecnología. Asimismo, están por concluir la creación de dos centros mexicanos de innovación dedicados a la biomasa. Denotó que el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología ha puesto inversiones históricas para romper con la dependencia de la importación de tecnología.

En relación con el tema específico del potencial de la nanotecnología, comentó que los centros mexicanos de innovación están desarrollando líneas de investigación diversas. Por ejemplo, relacionadas con el almacenamiento de la energía en baterías, cuyo trabajo está estrechamente vinculado con la nanotecnología y el cual es de suma importancia para afrontar el tema del respaldo de las energías eólica y fotovoltaica. Para ello se están utilizando nanofosfatos.

En el caso de los hidrocarburos, señaló que están trabajando con la captura, secuestro y uso del carbono hacia un aprovechamiento racional y el tránsito hacia el uso de energías limpias, a fin de disminuir las emisiones. En este sentido, la Comisión Federal de Electricidad, Pemex y SENER tienen un proyecto piloto para la construcción de una central termoeléctrica que utilice combustóleo, aproveche el carbono con usos mejorados de petróleo, y secuestre el carbono. Subrayó que ya hay un mapa de ruta tecnológica para ello y que cuentan con el respaldo financiero del Banco Mundial.

Energía solar, suficiente para satisfacer la demanda energética

Antonio del Río Portilla, director del Instituto de Energías Renovables de la UNAM (IER), evaluó el tema de las energías renovables como complejo en tanto que aún no se puede decir que exista una contribución real o sustancial de las energías renovables en la matriz energética nacional.

Desde su perspectiva, no existe una inclusión real de las energías renovables en el plan energético del país, ya que, por ejemplo, existe una meta que habla del uso de energías limpias de un 35 por ciento para 2014; no obstante, contemplan el uso de gas natural, cuando en otros lugares del mundo está entendido que las energías limpias son sinónimo de energías renovables y el gas natural no lo es. Además, energías limpias incluye la energía nuclear, y desde su evaluación es un riesgo que México no debería tomar. Puntualizó que México tiene una gran disponibilidad de energía solar, eólica y geotérmica, y considera que los esfuerzos de la SENER podrían ser mayores, tanto en el tema de la industria como en la promoción del uso de estas energías.

Considera que al pagar impuestos, los mexicanos subsidian el uso de hidrocarburos, y que en lugar de ello, este subsidio podría enfocarse en las fuentes renovables. Valoró que esto podría significar un avance hacia el desarrollo sustentable.

FIGURA 2. Horno solar del IER-UNAM.

Explicó que actualmente el IER asesora tanto a empresas como a entes gubernamentales en la compra de tecnología renovable adecuada, lo cual es de suma importancia para no hacer una mala inversión en este sentido, puesto que aún no hay mucha información al respecto. Zacatecas y el gobierno de Guerrero son estados a los que se ha dado asesoría para la compra de plantas fotovoltaicas. Consideró que la compra de tecnología tiene que considerar las necesidades reales de uso y aplicación concreta.

El IER, afirmó, lleva 30 años trabajando en energía solar, por lo que considera que son líderes en este tema en el país; tanto para el caso de la energía fototérmica como de celdas fotovoltaicas. Cuentan con dos laboratorios nacionales: el Laboratorio Nacional de Concentración Solar y Química Solar y el Laboratorio de Innovación Fotovoltaica y Celdas Solares. También indicó que están formando grupos en biocombustibles, y comenzando a trabajar en biodiesel y en bioetanol, además existe un grupo incipiente en energía eólica, dedicado fundamentalmente a cuestiones de baja potencia.

Un tema destacado, es que el IER cuenta con un grupo que trabaja el tema de energía en edificaciones, esto significa que están trabajando de manera transdisciplinaria, al combinar la planeación de los edificios con el uso eficiente de la energía. Ello implica calcular las estructuras de los inmuebles con el objetivo de tener un consumo mínimo de energía. Ejemplo de ello son los dispositivos bioclimáticos instalados en los edificios del IER, lo que les ha permitido prescindir del aire acondicionado a partir de la ventilación cruzada, techos escudo, muros dobles, y otros dispositivo que minimizan el uso de energía.

Esta visión arquitectónica puede representar un 10 por ciento arriba del costo “normal” de una construcción; no obstante, Río Portilla valoró que esto se bonifica en el menor uso de energía. Para ello es necesario considerar la orientación de los edificios y la contemplación de la estructura desde un inicio y evitar gastos en adaptaciones posteriores a la construcción.

Estima que las energías renovables tienen potencial para remplazar las energías fósiles, pues tan sólo la energía solar es suficiente para abastecer el total de nuestro consumo energético. Pero es necesario centrar esfuerzos en las tecnologías para el almacenamiento y el problema de la intermitencia. Enfatizó, además, la necesidad de fomentar en la población el uso de tecnologías solares que, si bien pueden ser un tanto más costosas, a largo plazo representan un ahorro en el pago de energía.

En cuanto a la dependencia tecnológico del extranjero, opinó que el mejor camino es apostar por el desarrollo de tecnologías propias; por ejemplo, actualmente los núcleos de las celdas fotovoltaicas están elaborados con silicio cristalino, y éste es importado, puesto que su fabricación requiere ambientes súper controlados que no existen ahora en el país; sin embargo, considera que en lugar de perseguir el desarrollo de esa tecnología, lo ideal es ser precursores en otros materiales. Es el caso de las celdas de tercera generación, que incorporan estructuras nanométricas, tema sobre el cual trabajan algunos investigadores del IER. Agregó que otro de los retos es la formación de recursos humanos para la instalación y el mantenimiento de las nuevas tecnologías. Aunado a ello, sostuvo que en el caso del uso de nanotecnologías es importante tener una normatividad que procure un estudio de toxicidad antes de que un producto sea lanzado al mercado.

Almacenamiento de energía amigable con el medio ambiente

Una de las preocupaciones del IER ha sido desarrollar investigación cuyos resultados y aplicaciones tengan el menor daño posible al medio ambiente. Es el caso de Ana Karina Cuentas Gallegos, investigadora en materiales nanocompuestos para súper capacitores, y adscrita al IER, quien está trabajando con materiales de carbono: nanotubos, nanofibras y aerogeles, así como un nuevo material de carbono activado a partir de biomasa. Ha desarrollado pruebas a partir del uso de biomasa de algas marinas para producir carbono activado que pueda ser utilizado para acumular energía. Estas matrices de carbono permitirían inmovilizar o dispersar nanopartículas u otro material. Otro de los materiales utilizados por Cuentas y su equipo son los óxidos moleculares. En colaboración con físicos teóricos están trabajando en la solución de problemas que permitan acercarse a aplicaciones tecnológicas.

El tungsteno es otro de los materiales que utilizan, éste se es un residuo del horno solar localizado en el IER y la finalidad es poder utilizarlo en la acumulación de carga en el carbono, además de estar explorando otros compuestos orgánicos.

Cuentas Gallegos y su grupo llevan alrededor de un año trabajando en dispositivos amigables con el ambiente pues muchas de las baterías existentes no son recicladas y una gran parte de éstas son incineradas. Ello genera problemas ambientales debido a la gran cantidad de metales pesados

que contienen como lo es el flúor que, al ser incinerado, se convierte en fluorocarbono, un compuesto muy agresivo para la capa de ozono. Por lo dicho, se intenta sustituir los componentes de las baterías para que en caso de que deban ser incineradas tengan un menor daño al ambiente.

Una de las soluciones en que están trabajando es utilizar tela de carbono, papel de carbono o grafito, en lugar de metales pesados como el aluminio o acero inoxidable en los lectores de corriente. Además, para la fabricación de electrodos están evitando el uso de polímeros con flúor, para ello han desarrollado otros polímeros que no contienen este metal. De manera que, en este momento, están trabajando con los electrolitos, hasta haber obtenido opciones menos dañinas para cada uno de los componentes de las baterías.

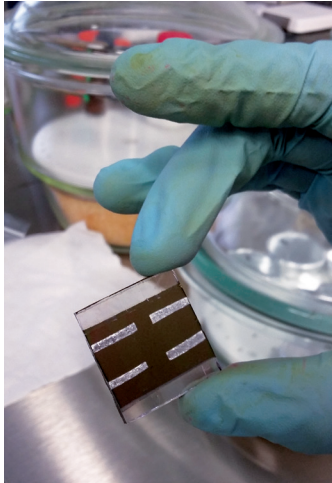
Asimismo, en conjunto con los físicos teóricos, están buscando resolver la adherencia de las nanopartículas, ya que si no están bien unidas se disuelven en el electrolito, y esto se refleja en una menor duración en los ciclos de carga y descarga; para ello están trabajando en una unión covalente con el carbono. Saber con qué se puede enlazar covalentemente puede permitir el diseño de un mejor material y conocer qué proceso debe tener el carbono para poder enlazarlo adecuadamente y controlar la concentración de los óxidos, y por consecuencia las capacidades de almacenamiento de carga (ello dado que el carbono es lo que da la potencia y los óxidos permiten acumular más carga)..

Es importante señalar que en este trabajo conjunto, se trabajan secuencialmente las fases teórica y experimental. Esto es una metodología distinta, comenta Cuenta Gallegos, pues anteriormente se elaboraban primero los materiales y después se desarrollaban los dispositivos. Ahora el trabajo se hace en paralelo con la finalidad de optimizar los factores necesarios para el ensamble. Como dispositivo entenderemos el ensamble de dos electrodos y un electrolito.

Celdas solares orgánicas y la encapsulación para mejorar la eficiencia

Las celdas híbridas u orgánicas son el campo de trabajo de Hailin Zhao Hu, investigadora del IER, quien desarrolla investigación en torno a las celdas solares orgánicas e híbridas, así como la encapsulación para conseguir una mayor estabilidad. Explicó que actualmente las celdas solares comerciales utilizan silicio cristalino, lo cual es un proceso de producción relativamente caro y hay pocos países haciéndolo. En el caso de la segunda generación de celdas solares utilizan una película delgada de varios compuestos: telurio de cadmio y sulfuro de cadmio, lo que las hace tóxicas. La tercera generación involucra estructuras nanocristalinas, empezando con celdas sensibilizadas con tinte tipo Grätzel, utilizando óxido de titanio, un tinte que absorbe la luz y un electrolito que es líquido para cerrar el circuito. Básicamente es una celda

FIGURA 3. Prototipo de celdas híbridas nano-estructuradas.



Fuente: IER-UNAM.

bajas temperaturas presenta inestabilidad, lo que hace a la celda un tanto endeble a la humedad, pues ésta ataca el plomo, lo descompone y la celda pierde eficiencia rápidamente, por ello es necesario trabajar en la encapsulación. El proceso para mejorar la estabilidad de las celdas de perovskita requerirá trabajo teórico desde la física y la química para acercarnos a un mejor funcionamiento de las capas activas. En cuanto al tema de riesgo, Zhao Hu explicó que existen esfuerzos por tratar de sustituir el uso de plomo, debido a la toxicidad que éste puede representar. Sin embargo, indicó que como no hay productos todavía en el mercado con esta estructura, no existe una regulación al respecto.

Zhao Hu indicó que desde el año 2004 se comenzó a trabajar en celdas poliméricas con materiales orgánicos semiconductores, en donde también se puede formar una capa activa con dos componentes haciendo una mezcla, en vez de dos capas separadas, para lograr una mejor estabilidad. Explicó que su equipo está trabajando en la capa activa de las celdas solares de tercera generación, usando un componente orgánico tipo “p”, que puede ser un polímero conductor, y en la parte inorgánica utilizan nanopartículas compuestas de sulfuro de metales, por ejemplo, de sulfuro de cadmio, ya que tienen un mayor conocimiento de éste. Para ello, han realizado distintos métodos de precipitación química o asistida por microondas; sin embargo, al usar cadmio, explicó, estos compuestos siguen siendo tóxicos. Por ello, la investigación se está enfocando ahora en elementos más ecológicos como el sulfuro de antimonio, el sulfuro de bismuto o el estaño. Han preparado nanobarras de aquellos materiales con la finalidad de mejorar la conductividad, pues han demostrado ser mejores que las estructuras esféricas al

electroquímica. La desventaja de esta celda es que usa un líquido en medio del dispositivo que la vuelve inestable. Desde el año 2009 se ha reportado en la literatura que las celdas solares de estado sólido con perovskita demuestran una eficiencia de conversión luz-electricidad hasta de 20%, que es la más alta obtenida de la tercera generación de celdas solares (comparado con el 1% ofrecido por el sulfuro de cadmio), y por ello es considerado un hallazgo importante.

La estructura química de la perovskita ha sido utilizada con otros elementos, para construir una perovskita híbrida, misma que contiene plomo como catión y yoduro de metil-amonio como anión; este compuesto se puede formar en fase cristalina a temperaturas menores a 100°C. La desventaja consiste en que un cristal formado a

incorporarlos en la capa activa de una celda solar. En el IER hay estudiantes de posdoc que están incorporándose a esta línea de investigación, y se sabe que algunos investigadores ya han calculado el porcentaje de plomo que se utiliza. Hailin Zhao subrayó que su equipo de trabajo da mayor peso al aspecto ecológico de los materiales, que a la alta eficiencia.

El siguiente paso, explica, es conseguir fondos a través de colaboraciones con Centros de Investigación CONACYT, para poder tener una atmósfera más controlada, libre de humedad y oxígeno, y así poder transitar a la tecnología de encapsulación de celdas orgánicas, lo cual representaría importantes avances en cuanto a la estabilidad de las celdas.

Hidrógeno y la conversión del sector transporte

Otro de los retos para la transición energética corresponde al sector transporte, el que actualmente, en el caso de México, es totalmente dependiente de los hidrocarburos. Al respecto, Virginia Idolina Collins Martínez, investigadora del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) de Chihuahua, y quien trabaja en el Departamento de Química de Materiales, trabaja temas de fotocatalisis, catálisis y electrocatálisis, aspectos estrechamente relacionados con la producción de hidrógeno, línea de investigación que Idolina considera principal para el cambio de paradigma energético en el tema de combustibles para el sector en cuestión. Ello permitiría evitar o disminuir las emisiones de CO₂e.

Otro de los temas que interesa al CIMAV es el estudio de los desechos según la región para poder incrementar la eficiencia térmica de los biocombustibles.

Una de las aplicaciones más exitosas que ha tenido el Centro son las de catálisis, la cual está íntimamente relacionada con la nanotecnología. Es el caso de las celdas de combustible o las de hidrógeno que han aumentado su eficiencia a partir del uso de la nanotecnología. Collins Martínez consideró que después de 19 años de estudiar el tema de la catálisis, valora que México no ha aprovechado esta tecnología, siendo que, desde su perspectiva, es una tecnología madura. Ejemplificó, que en el caso de la energía solar los sistemas fotocatalíticos pueden trabajar bajo luz visible. Agregó que es necesario que tanto el sector gubernamental como empresarial se relacionen más con esta tecnología para explotarla mejor.

Señaló que desde hace 16 años está trabajando en estas aplicaciones la Sociedad Mexicana de Hidrógeno, mientras que la Red Temática del Hidrógeno lleva dos años. En ese sentido, se puede sostener que ya hay cierto *expertise*.

Por otro lado, comentó que hace unos años se lanzó una iniciativa de ley sobre la legislación del hidrógeno, la cual considera de gran importancia, toda vez que el sector automotriz pronto se podría ver orillado a traer esa tecnología al país. La iniciativa de ley tiene por objeto que el gobierno destine recursos para la investigación en este tema.

Indicó que es importante quitar el tabú respecto al uso del hidrógeno, así como hacer divulgación en todos los niveles, incluso los básicos, de manera que no se vea como un peligro y sí como una opción. Consideró que puede tener mayores ventajas que los hidrocarburos, puesto que su obtención es ilimitada dado que la reacción química de éste puede continuar aumentando su eficiencia, caso contrario al de los hidrocarburos.

Agregó que una de las desventajas de no mutar la tecnología puede ejemplificarse con la llegada de los automóviles con convertidor catalítico al país hace unos años, en ese momento las gasolinas con base plomo no estaban diseñadas para ello, de manera que el país tuvo que reformular a prisa y esto se tradujo en una alta contaminación. Puntualizó que la reforma energética no está considerando este cambio en el sector automotriz.

Comentó que aún están esperando el resultado de las leyes secundarias, pues se siguen estudiando por la Comisión de Energía.

Abundó en la importancia de concientizar a los empresarios en tanto la factura ambiental que podría significar no abordar este tema con seriedad. Finalizó puntualizando la importancia de desarrollar las tecnologías junto con la evaluación de los procesos de éstas desde la perspectiva de riesgo e impacto ambiental. Consideró que desde el trabajo de investigación es necesario procurar el uso de materiales más inocuos, así como los procesos desde el diseño, y hasta la implementación, así como la huella ambiental de las aplicaciones.

En un escenario en el que la demanda de energía podría duplicarse al año 2050, la nanotecnología ofrece pues oportunidades para mejorar procesos y aumentar la eficiencia, tanto de las energías convencionales como renovables, tales como la geotérmica, solar, eólica, hidroenergía o biomasa. Se trata de explorar el potencial de las propiedades químicas, térmicas, mecánicas, ópticas y eléctricas de materiales nanoestructurados y nanoprosesos, una oportunidad que ha sido bien identificada por el sector privado en tanto se estima que ya en 2012 el gasto empresarial en investigación nano era de unos 10 mil millones de dólares (mucho del cual se destinaba a aplicaciones en energía) (Looney, 2015). Las ganancias derivadas de productos nano alcanzaban, ese mismo año, el monto de 731 mil mdd y, en 2013, el billón de dólares. Estimaciones para 2018 llegan a sugerir una cifra de 4.4 billones de dólares (*Ibid.*).

La estimación de mercado para las aplicaciones nanotecnológicas en el sector energía ofrecida por Científica (EUA) precisa un monto de alrededor de 40 mil millones de dólares en el corto a mediano plazo, particularmente en aplicaciones de transporte, edificios e ingeniería de la construcción con materiales ligeros, almacenamiento de energía, celdas de combustibles y celdas solares, superconductores de alta temperatura, termoeléctricos y reducción/captura de emisiones de gases de efecto invernadero (HMETURD, 2008). Véase el cuadro 3.

La apuesta se centra entonces en el uso de nanomateriales o nanoprosesos en la conversión energética en fuentes convencionales y renovables, la

CUADRO 3. Ejemplos de aplicaciones nanotecnológicas potenciales en el sector energía.

CONVERSIÓN ENERGÉTICA
Fotovoltaica de última generación (películas delgadas, puntos cuánticos, etc).
Eólica (materiales nanoestructurados más resistentes y anticorrosivos para rotores, aspas, etc).
Combustibles fósiles (equipo más resistente a la corrosión, nanopartículas para una explotación más eficiente de pozos petroleros, etc).
Celdas de combustión (membranas y electrodos nanoestructurados para aplicaciones en automóviles y electrónicos móviles).
Producción de hidrógeno (nano-catálisis).
DISTRIBUCIÓN
Transmisión de alta tensión (nanomateriales para sistemas de insolación eléctrica, nanomateriales para la transformación eficiente de corriente).
Superconductores optimizados a partir de diseños de interfase a la nanoescala para reducción de pérdidas.
Cables superconductores basados en nanotubos de carbono (tecnología esperada en el largo plazo).
Transmisión inalámbrica de energía mediante microondas o resonancia electromagnética basada en componentes nano-optimizados (largo plazo).
Nanosensores para la implementación de redes de transmisión inteligentes y de manejo flexible.
Sistemas de transferencia de calor eficientes en edificios e industria basados en nanomateriales para intercambiadores de calor y conductores.
ALMACENAMIENTO
Energía eléctrica: baterías y supercapacitores con electrodos nanoestructurados.
Energía química: materiales nanoporosos para su aplicación en micro celdas de combustible (de hidrógeno). Nanocatálisis para la optimización de la transformación de combustibles fósiles.
Energía térmica: almacenamiento adsorbente basado en materiales nanoporosos para almacenamiento reversible de calor en edificios y redes de calefacción.
USO FINAL EFICIENTE
Aislamiento térmico: espumas nanoporosas y geles para el aislamiento de edificios o de procesos industriales.
Aire acondicionado (manejo inteligente de la luz y los flujos de calor en edificios mediante ventanas electrocromáticas u otras (nano)tecnologías).
Materiales de construcción de bajo peso usando nano-composites.
Procesos industriales: sustitución de procesos energéticamente intensivos con innovaciones mediante nanoprocesos.
Sistemas de iluminación eficiente con tecnologías mejoradas con nanomateriales.

Fuente: Elaboración propia con base en HMETURD, 2008.

FIGURA 4. Supercapacitador de Applied Nanostructured Solutions LLC (subsidiaria de Lockheed–Martin).



distribución, el almacenamiento y el consumo final eficiente, todo en un contexto de agudización del cambio climático y aumento de los patrones de consumo de energía. Y si bien no toda solución para confrontar tales retos ha de ser tecnológica (pues se deben también atender cuestiones socioculturales, entre otras), los prometedores avances de la nanotecnología pueden sin duda sumarse en dicho esfuerzo.

Referencias

- Academia Mexicana de Ciencias (2013). *Energía*. Serie: Agenda Ciudadana de Ciencia, Tecnología e Innovación. México.
- Banco Mundial. (2015). *Progress Toward Sustainable Energy*. Global Tracking Framework 2015. En: <<http://trackingenergy4all.worldbank.org/~media/GIAWB/GTF/Documents/GTF-2105-Full-Report.pdf>>.
- BP Statistical Review of World Energy, junio 2015. En: <www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>.
- HMETURD – Hessian Ministry of Economy, Transport, Urban and Regional Development (2008). *Application of nano-technologies in the energy sector*. Wiesbaden, Alemania.
- Looney, Bill (2015). The nanotechnology energy revolution. AECOM. 4 de marzo. En: <blogs.aecom.com/connectedcities/the-nanotechnology-energy-revolution>.
- SENER, sin fecha. *Sistema de información energética*. En: <<http://sie.energia.gob.mx>>.