

# *Nanotecnologías aplicadas al sector energético*

*Edgar Arteaga Figueroa\**

*Guillermo Foladori\*\**

*Edgar Záyago Lau\*\*\**

*Eduardo Robles Belmont\*\*\*\**

*reLANS realizó una investigación preliminar sobre nanotecnología y energía en América Latina. Este tema es utilizado como ejemplo de que las innovaciones tecnológicas pueden tener orientación social o, por lo menos, permitiría distinguir entre tecnologías sustentables o limpias de otras, como sería el caso de la energía solar o los hidrocarburos. El estado de la Investigación y Desarrollo en nanoenergía en América Latina se presenta en forma compacta en este artículo.*

**L** A ENERGÍA Y SUS FORMAS

**L**A ENERGÍA es un concepto clave para entender cualquier aspecto de la naturaleza, incluida la naturaleza humana.<sup>1</sup> La energía se define como la capacidad de un sistema para realizar un trabajo.<sup>2</sup> Trabajo, en sentido literal, implica mover, levantar, calentar, iluminar. Al metabolizar, los or-

ganismos vivos transforman los alimentos en energía que les permite, a su vez, realizar un trabajo o actividad. Durante la mayor parte de la historia de la humanidad, la principal fuente de energía fue la propia fuerza humana de trabajo y el fuego. En la medida en que la organización social adquirió mayor complejidad fueron explotándose nuevas fuentes de energía, como la tracción animal, el viento, la energía fósil, la biomasa, la energía nuclear,

\* Maestría en Economía de la Universidad Autónoma de Zacatecas, México. Miembro de la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad. Correo: arteagafigueroa@gmail.com.

\*\* Docente-investigador de la Unidad Académica en Estudios del Desarrollo de la Universidad Autónoma de Zacatecas, México. Coordinador de la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad. Correo: gfoladori@gmail.com.

\*\*\* Docente-investigador de la Unidad Académica en Estudios del Desarrollo de la Universidad Autónoma de Zacatecas, México. Secretario técnico de la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad. Correo: zayagolau@gmail.com.

\*\*\*\* Investigador del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México. Correo: roblesbelmont@yahoo.fr.

etcétera. La energía no siempre está disponible para el uso humano; debe transformarse en modalidades que permitan una versatilidad de uso y localización espacial favorable a la sociedad. La energía puede identificarse según la forma en que se manifiesta, siendo las principales:

- Energía mecánica, que incluye a la potencial y la cinética.
- Energía solar, que proviene de la luz y el calor del sol.
- Energía térmica, asociada al calor de un objeto.
- Energía química, almacenada en los enlaces químicos de las moléculas.
- Energía eléctrica, asociada al movimiento de electrones.
- Energía electromagnética, asociada a las ondas de luz (incluyendo las ondas de radio, microondas, rayos X y ondas infrarrojas).
- Energía nuclear, que se encuentra en la estructura nuclear de los átomos y que se libera espontánea o artificialmente en las reacciones nucleares.<sup>3</sup>

Para fines económicos es importante distinguir la fuente de energía de los mecanismos para almacenarla. Los combustibles fósiles — como el petróleo o el gas —, por ejemplo, contienen en sí mismos la posibilidad de ser almacenados en tanques; mientras que la energía solar debe ser convertida en otra modalidad energética — electricidad — para que pueda ser acumulada.<sup>4</sup>

Según la fuente de energía y sus modalidades de almacenamiento y transporte, ésta se puede dividir, analíticamente, en fuentes primarias y secundarias. Las fuentes primarias de energía toman diversas formas; incluyen la energía nuclear, la energía fósil (petróleo, carbón y gas natural) y las energías renovables como la eólica, solar e hidráulica. Estas fuentes primarias son convertidas en electricidad, una fuente secundaria de energía que es distribuida a través de las líneas de alta tensión y otra infraestructura hacia los hogares y la industria y empresas.<sup>5</sup> Lo que importa para la sociedad es convertir la energía disponible en una forma que pueda realizar un trabajo útil y que pueda distribuirse al lugar correcto en el momento correcto.<sup>6</sup>

#### LA NANOTECNOLOGÍA APLICADA AL SECTOR ENERGÉTICO

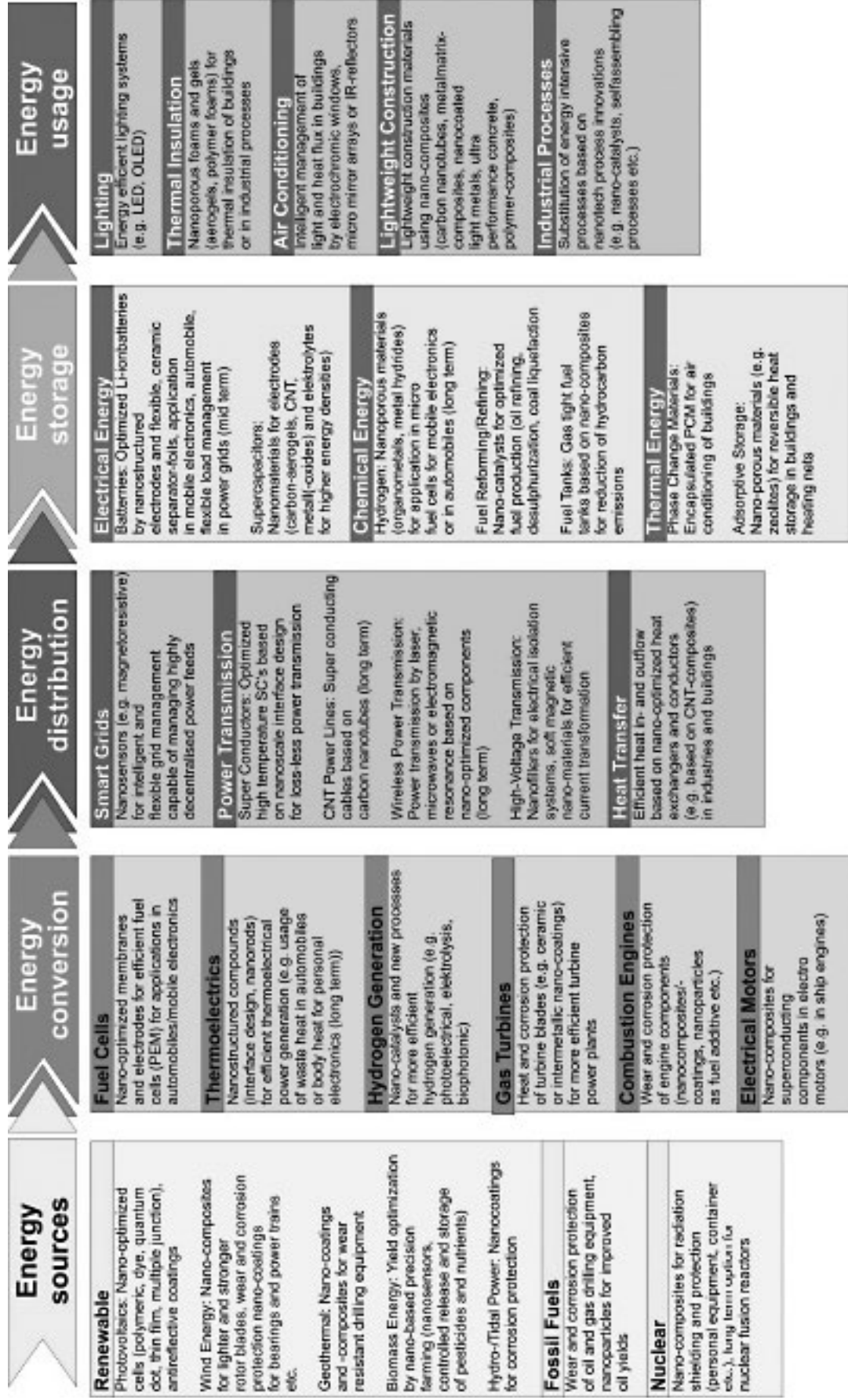
La nanotecnología es la ciencia, ingeniería y tecnología que trabaja la materia en nanoescala, que va de uno a 100

nanómetros, aproximadamente. La nanociencia y nanotecnología implican la capacidad de ver y controlar los átomos y moléculas de forma individual.<sup>7</sup> La nanotecnología consiste en una nueva y amplia rama de la ciencia, donde disciplinas como la física, química, biología, ciencia de los materiales e ingeniería convergen en la nanoescala. La peculiaridad de la nanotecnología radica en que la materia en nanoescala manifiesta propiedades físico-químicas nuevas y desconocidas en muchos casos para la misma materia en tamaños mayores. Por esta razón, las nanotecnologías pueden ser aplicadas a cualquier sector económico, conociéndose como tecnologías habilitadoras.<sup>8</sup> Hay aplicaciones de nanotecnología en las tecnologías de las comunicaciones e información, la biología, la medicina, la seguridad nacional, la industria de la construcción, la industria textil, la metal-mecánica, el transporte y el sector energético, entre otros.<sup>9</sup>

Muchas modalidades energéticas son altamente contaminantes y se presenta la dificultad de satisfacer la demanda protegiendo, al mismo tiempo, el medio ambiente y la salud humana. Muchos científicos están estudiando formas de desarrollar fuentes de energía limpias y renovables, junto con los medios para reducir el consumo de energía y disminuir la carga de toxicidad sobre el medio ambiente. Es aquí donde las nanotecnologías pueden contribuir a solucionar o mejorar la situación, pues tienen la capacidad de proveer técnicas novedosas para concentrar y distribuir la energía a los lugares donde la demanda es mayor y reducir la contaminación.<sup>10</sup> Algunas de las aplicaciones nanotecnológicas al sector energético, según la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de los Estados Unidos, incluyen:<sup>11</sup>

- Energía solar: prototipos de paneles solares que incorporan nanotecnología, son más eficientes convirtiendo la luz solar en electricidad. Las celdas solares nanoestructuradas son más discretas, más baratas en su manufactura y más fáciles de instalar.
- Combustibles fósiles: la nanotecnología está mejorando la eficiencia en la producción de combustibles mediante una mejor catálisis, así como mejoras en el consumo de combustible en vehículos y centrales eléctricas, a través de mayor eficiencia en la combustión y reducción de la fricción.
- Biocombustibles: la nano-bioingeniería de enzimas busca lograr la conversión de la celulosa en etanol como combustible a partir de astillas de madera, tallos de maíz y otras hierbas.

FIGURA 1.  
Ejemplos de aplicaciones potenciales de la nanotecnología  
en la cadena de valor del sector energético



Fuente: Hessian Ministry of Economy, Transport, Urban and Regional Development (2008).<sup>12</sup>

- Almacenamiento y baterías: la nanotecnología ya se utiliza en nuevos tipos de baterías que son menos inflamables, más rápidas de cargar, ofrecen mayor rendimiento y menor peso, además de que ofrecen una mayor densidad de potencia y mantienen la carga eléctrica por más tiempo.
- Tecnologías de hidrógeno: se pretende utilizar materiales nanoestructurados para mejorar las membranas de hidrógeno, materiales de almacenamiento y catalizadores necesarios en la elaboración de celdas de combustible, que son utilizadas en tecnologías alternativas de transporte de costo reducido. Se busca desarrollar un depósito de combustible de hidrógeno ligero y seguro.
- Energía térmica: se están utilizando diversas opciones basadas en la nanociencia para convertir el calor residual de las computadoras, automóviles, casas y plantas eléctricas, en energía eléctrica utilizable.
- Energía eólica: una resina epoxi que contiene nanotubos de carbono se utiliza para hacer palas de aerogeneradores más largas, más fuertes y más ligeras que otras hojas para aumentar la cantidad de electricidad que los molinos de viento pueden generar.
- Energía eléctrica: se están desarrollando cables que contienen nanotubos de carbono y que ofrecen una resistencia mucho menor que los cables de alta tensión utilizados actualmente en la red eléctrica; con esto se pretende reducir la pérdida de potencia durante la transmisión de energía. Hay bujías de iluminación más eficientes de muy reducido consumo de energía.
- Electrónica: para alimentar dispositivos electrónicos móviles, se están desarrollando paneles solares eléctricos hechos de películas delgadas tejidas en la ropa para generar energía utilizable a partir de la luz, la fricción o el calor del cuerpo.

Estas aplicaciones nanotecnológicas pueden proporcionar el potencial para mejorar la eficiencia energética en todos los sectores de la industria y el de aprovechar económicamente la producción de energía renovable. La figura 1 presenta ejemplos de cómo las innovaciones nanotecnológicas se insertan en cada una de las partes de la cadena de valor de la energía, desde la fuente energética primaria, hasta su uso final, pasando por la conversión, distribución y almacenamiento.

Un reflejo del desempeño en la investigación de los temas referentes a nanoenergía es la cantidad de publicaciones desarrolladas en la materia. Entre 2000 y 2012, en un estudio bibliométrico, Robles Belmont encontró que las energías fósiles (combustibles fósiles) son el área sobre la que se ha escrito mayor número de artículos en América Latina y el Caribe, ya que se identificaron 505 artículos publicados, lo que equivale a 43.46 por ciento de los artículos en el campo de la nanotecnología en el sector energía. Las siguientes dos áreas de mayor desarrollo son las aplicaciones nuevas de la nanotecnología en energía con 346 artículos y energía fotovoltaica con 306 artículos. Las áreas sobre almacenamiento y transporte de energía representan 12.05 y 11.96 por ciento, respectivamente. En el área de energía eólica, considerada una de las energías renovables ampliamente promovidas, particularmente en México, no se han publicado artículos en la región.<sup>14</sup> Dado que un artículo puede contemplar más de un ítem, el total relativo no suma 100 por ciento.

CUADRO 1.

*Frecuencias de los artículos publicados en nanotecnología en las diferentes áreas del sector energía en América Latina y el Caribe*

Áreas	Artículos publicados	% de 1162
Energías fósiles	505	43.46
Nano aplicaciones en energía	346	29.78
Energía fotovoltaica	306	26.33
Almacenamiento de energía	140	12.05
Transporte de energía	139	11.96
Energía eólica	0	0.00

Fuente: Tomado de Robles Belmont (2014).

México tiene presencia desde 1992 en la investigación de las nanotecnologías aplicadas al sector energético.<sup>15</sup> Sin embargo, a partir de 2000 la tendencia de los artículos publicados referentes al tema se incrementa, siendo el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) los líderes en investigación y en publicaciones.<sup>16</sup> La UNAM es la institución de investigación superior más importante de México. En número de alumnos y profesores es la más grande del

país y de América Latina. En términos de publicaciones científicas en nanociencia y nanotecnología, la UNAM concentra 25 por ciento de la producción total.<sup>17</sup>

Para completar la información bibliométrica, los autores de este artículo realizaron un relevamiento de los proyectos y líneas de investigación en el tema de nanoenergía en México, según los principales centros de Investigación y Desarrollo (I+D), universidades y empresas en México. Se identificaron 16 cuerpos académicos del Promep que trabajan en áreas relacionadas con la nanoenergía. El programa de Cuerpos Académicos (CA) es una iniciativa de la Secretaría de Educación Pública de México y se promueve de manera simultánea con el Programa para el Mejoramiento del Profesorado el Promep. El programa de CA fue creado con el objetivo de instituir los mecanismos de coordinación y vinculación entre los sistemas universitarios y tecnológicos regulando las actividades de investigación y docencia.<sup>18</sup> En los centros de investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) se encontraron 11 proyectos referentes a nanoenergía. En el IPN se encontraron 32 proyectos que explícitamente desarrollan áreas que tienen que ver con nanotecnología y energía. La UNAM cuenta con 23 proyectos de investigación en la materia. El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav) cuenta con ocho proyectos en el área de nanoenergía. El Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) está desarrollando siete proyectos en México. Finalmente, seis proyectos de nanoenergía corresponden a instituciones gubernamentales y dos a instituciones o empresas particulares.

Al desagregar las investigaciones en nanoenergía según la temática, encontramos que en México la energía solar y los dispositivos fotovoltaicos son los que mayor atención tienen en los proyectos de I+D de las instituciones mexicanas (40 proyectos), seguidos de las celdas de combustible (18 proyectos), las tecnologías de hidrógeno (12 proyectos), la energía eléctrica (nueve proyectos), los combustibles fósiles (ocho proyectos), los biocombustibles (siete proyectos), la electrónica (seis proyectos), los catalizadores (tres proyec-

tos) y las tecnologías de almacenamiento (un proyecto). Esta es una distribución indicativa, las cantidades no pueden sumarse o convertirse a porcentaje porque existe la posibilidad de que algunos proyectos abarquen más de una línea de investigación sobre el tema. Tres son las instituciones que mantienen el liderazgo en I+D de nanoenergía en México: el IPN (con 32 proyectos y 72 artículos), la UNAM (22 proyectos y 216 artículos) y el Cinvestav (16 proyectos y 105 artículos).

## CONCLUSIONES

La energía es un elemento clave de la sociedad humana. El mercado de la nanotecnología está presente en todas las tecnologías de la energía y está desarrollando cambios sustanciales en el panorama energético actual. México participa en investigaciones de nanoenergía desde 1992 y, a partir de entonces, la mayor parte de la I+D en la materia es realizada por instituciones públicas y centralizada particularmente en tres instituciones: el IPN, Cinvestav y UNAM. En el país, los esfuerzos I+D en materia de nanoenergía se materializan principalmente en el estudio y desarrollo de proyectos de tecnologías fotovoltaicas y celdas solares, ya sea en la producción de materiales fotocatalíticos, celdas más eficientes y baratas o tecnologías de conversión y almacenamiento de energía solar para la generación de electricidad. Le siguen las celdas de combustible y las tecnologías de hidrógeno.

Es posible que una de las razones de que las investigaciones en nanoenergía tengan mayor presencia en las energías limpias y renovables (celdas solares, fotovoltaica) sea la preocupación por conciliar la gran demanda de energía con la creciente necesidad de proteger al medio ambiente. La nanotecnología se presenta como una herramienta que incrementa el potencial de las aplicaciones tecnológicas en el sector energético, pues provee mejoras en todo momento de la cadena de valor, favoreciendo y facilitando el desarrollo, explotación, almacenamiento y distribución de cualquier fuente de energía.

## — • notas • —

<sup>1</sup> White, H. (1996). *Física Moderna* (Vols. 1-2, Vol. 1). Limusa Noriega Editores.

<sup>2</sup> California Energy commission. (2012). *What is Energy? Energy Story*. <http://energyquest.ca.gov/story/chapter01.html>.

<sup>3</sup> American Petroleum Institute. (2013). *What is Energy? Oil & Natural Gas Overview*. <http://www.api.org/oil-and-natural-gas-overview/classroom-tools/classroom-curricula/what-is-energy>.

<sup>4</sup> Gasman, L. (2006). Nanotech and Energy. En *Nanotechnology: Applications and Markets* (p. 210). Massachusetts, EU.: Artech House, Inc.

<sup>5</sup> Department of Energy. (s/f). *Energy Sources*. <http://www.energy.gov/science-innovation/energy-sources>

<sup>6</sup> Gasman (2006), *op. cit.*

<sup>7</sup> National Nanotechnology Initiative. (s/fb). *What is Nanotechnology? National Nanotechnology Initiative*. <http://www.nano.gov/nanotech-101/what/definition>.

<sup>8</sup> Foladori, G., & Invernizzi, N. (2006). *Nanotecnologías Disruptivas: Implicaciones Sociales de las Nanotecnologías*. México, D.F.: Miguel Ángel Porrúa.

<sup>9</sup> National Nanotechnology Initiative (s/fb), *op. cit.*

<sup>10</sup> Gasman (2006), *op. cit.*

<sup>11</sup> National Nanotechnology Initiative. (s/fa). *Sustainable Energy Applications*. <http://www.nano.gov/you/nanotechnology-benefits>.

<sup>12</sup> Hessian Ministry of Economy, Transport, Urban and Regional Development. (2008). Application of Nano-technology in

the Energy Sector. Hessian Ministry of Economy, Transport. <http://www.hessen-nanotech.de/dynasite.cfm?dsmid=15523>.

<sup>13</sup> Los datos para este apartado provienen del proyecto *NMP-DeLA. Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies. Deployment in Latin American Countries. FP7-NMP-2013-CSA-7. EU 7<sup>th</sup> Framework Programme*.

<sup>14</sup> Robles Belmont, E. (2014, abril). Desarrollo de las nanotecnologías en el sector energía en América Latina y el Caribe: panorama a partir del análisis de artículos científicos. En: *NMP-DeLA. Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies. Deployment in Latin American Countries. FP7-NMP-2013-CSA-7. EU 7<sup>th</sup> Framework Programme*. p. 4.

<sup>15</sup> *Idem*.

<sup>16</sup> *Ibidem*, p. 9.

<sup>17</sup> Záyago, E., Frederick, S., & Foladori, G. (2014). Twelve Years of Nanoscience and Nanotechnology Publications in Mexico. *Journal of Nanoparticle Research*, xx.

<sup>18</sup> Secretaría de Educación Pública. (s/f). *Objetivos del Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP)*. Dirección de Superación Académica. Recuperado a partir de <http://dsa.sep.gob.mx/promepdsa.html>.

