



Nanotecnologías para la energía en México: revisión de publicaciones científicas, patentes y empresas

Nanotechnologies for energy in Mexico: Review of scientific publications, patents and companies

Edgar Ramón Arteaga Figueroa^{a*}, Edgar Záyago Lau^{b*}, Guillermo Foladori^{c*}

*Universidad Autónoma
de Zacatecas

RESUMEN

Objetivo: establecer y revisar el estado actual de las nanotecnologías aplicadas al sector energético en México, desde la Investigación y Desarrollo (I+D) hasta las patentes y dispositivos en el mercado.

Método: se realizó un análisis bibliométrico de publicaciones científicas, se recolectaron datos sobre los grupos de investigación en el tema, se conformó un catálogo de patentes y, finalmente, se hizo una descripción de las empresas mexicanas que producen instrumentos y dispositivos para generar, almacenar o volver eficiente el uso final de la energía.

Resultados: entre 2000 y 2019 se han realizado 82 publicaciones y hay proyectos de investigación en más de 50 centros públicos; asimismo, hay empresas nacionales e internacionales que patentan y ofrecen productos nanohabilitados para la generación, almacenamiento y distribución de energía.

Limitaciones: actualmente no se cuenta con una estrategia nacional sobre nanotecnologías en el país; la información fue recolectada y sistematizada de distintas fuentes, documentos e informes oficiales.

Principales hallazgos: este es un primer ejercicio que permite visualizar una desarticulación entre lo que se investiga, patenta y produce en materia de nanotecnologías aplicadas al sector energético de México.



Recibido: 8 de agosto de 2019
aceptado: 20 de enero de 2020;
publicado: 21 de febrero de 2020



Palabras clave:
*nanotecnologías,
energía, Investigación
y Desarrollo, innovación,
México.*

ABSTRACT

Purpose: To establish and review the current status of nanotechnologies applied to the energy sector in Mexico, from Research and Development (R&S) to patents and devices available in the market.

Methodology: A bibliometric analysis of scientific publications was carried out, data on research groups on the subject were collected, a patent catalog was conformed and, finally, a description of the Mexican companies that produce instruments and devices to generate, store, or make efficient final use of energy, was made.

Results: There are 82 publications between 2000 and 2019 and there are research projects in more than 50 public centers; there are also national and international companies that patent and offer nano-enabled products for energy generation, storage and distribution.

Limitations: At the time of this research there is still no national strategy on nanotechnologies in the country. The information was collected and systematized from different sources, documents and official reports.

Findings: This is a first exercise that allows us to visualize disarticulation between what is researched, patented and produced in terms of nanotechnologies applied to the Mexican energy sector.



Keywords:
*Nanotechnology, energy,
Research and Development,
innovation,
Mexico.*



Se autoriza la reproducción
total o parcial de los textos
aquí publicados siempre
y cuando se cite la fuente
completa y la dirección
electrónica de la publica-
ción. CC-BY-NC-ND

INTRODUCCIÓN

En este artículo presentamos información sobre el estado de la investigación y desarrollo (I+D) de nanotecnologías aplicadas al sector energético en México. La importancia de este proyecto radica en la inexistencia de registros sistematizados sobre la I+D de las nanotecnologías en el país, además de que no hay estudios que exploren en detalle la forma en que estas tecnologías se articulan con el sector energético.

A nivel mundial, la mayor parte de la I+D en este tema se ha centrado en la energía solar y es encabezada por Japón, China y Estados Unidos, que concentran el mayor número de artículos de investigación y patentes, sobre todo, en áreas como los biocombustibles, electricidad y tecnologías de almacenamiento (NanoNature, s.f.). Sin embargo, son los norteamericanos quienes han dedicado más recursos al tema de la energía, logrando que 23.45 % de sus patentes de nanotecnologías estuvieran directamente vinculadas con este sector en 2016.¹ En 2019, este país destinó 1,572 millones de dólares a nanotecnologías, de los cuales 343 fueron para el Departamento de Energía (DOE por sus siglas en inglés) (*National Nanotechnology Initiative [NNI]*, s.f.a.).

México se encuentra muy lejos de los primeros lugares; sin embargo, ha promovido esquemas de participación públicos y privados para el desarrollo de estas tecnologías. En 2012 se contabilizaron 101 empresas que comercializaban productos nanohabilitados en el país, la mayor parte (17) en el sector químico, ocho en la fabricación de componentes eléctricos y uno del sector petroquímico (Záyago, Foladori y Arteaga, 2012). Una actualización de este inventario, en 2016, arrojó 139 empresas desarrollando productos con nanotecnologías en México. La mayoría (60) se dedican a la fabricación de productos químicos, mientras que únicamente seis se dedicaban a la manufactura de equipo eléctrico (Appelbaum *et al.*, 2016).

En 2014 había menos de 450 investigadores trabajando en aproximadamente 160 laboratorios de más de 40 centros de investigación en todo el país, la mayoría concentrados en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

(Conacyt), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav-IPN) (Delgado-Ramos, 2014).

En materia de nanotecnologías para la energía, México sigue la tendencia internacional en I+D, enfocando esfuerzos en la energía solar fotovoltaica; sin embargo, prevalece la ausencia de coordinación entre lo que se investiga y lo que se patenta y produce. Se realiza I+D para tecnologías fotovoltaicas, pero la mayoría de los registros de patentes en el tema pertenecen a energía fósil, mientras que las empresas comercializan productos nanohabilitados para energía eléctrica. Por ello, ante la ausencia de una estrategia nacional de nanotecnologías, que dirija los resultados del financiamiento público a esta actividad para la atención de problemas sociales, resulta fundamental la realización de un diagnóstico actual sobre el estado de las nanotecnologías en un sector de importancia estratégica para el país.

El medio ambiente es un reservorio de energía, pero existe el reto de transformar a esta para ser utilizada en la actividad económica. En este sentido, la tecnología juega un papel fundamental en cuanto al desarrollo de procesos más eficientes para capturar la energía proveniente de la naturaleza. El análisis sobre el vínculo entre energía y desarrollo requiere de un abordaje multidimensional para ubicar variables técnicas, administrativas, jurídicas, socioeconómicas y, desde luego, geoeconómicas y geopolíticas que delimitan la generalización de ciertas tecnologías en el campo energético. Es indudable que el acceso a energía de manera constante y sostenible es una condición *sine qua non* para el desarrollo de cualquier país. El reto, sin embargo, es aplicar nuevas tecnologías que permitan, por un lado, acceder eficientemente a fuentes de energía tradicionales (energía fósil) y, por otro, explotar fuentes alternativas (solar, eólica, biomasa, mareomotriz). En este caso, nos interesa organizar la información concerniente a la investigación científica y el patentado de aplicaciones nanotecnológicas para la energía en México, con el objetivo de tener un panorama de su adopción y desarrollo. Para ello, hemos dividido el trabajo en cuatro apartados. El primero expone cómo se han impulsado las nanotecnologías en el país, el segundo explica la metodología de investigación uti-

¹ En 2016 Japón tenía registradas 5 469 384 patentes de nanotecnologías, de las cuales 339 223 son para energía (6.20 %). Ese mismo año, China tenía 3 527 001 patentes de nanotecnologías y sólo 22 648 fueron para energía (0.64 %). Estados Unidos tenía 3 432 474 patentes de nanotecnologías, de las cuales 805 190 fueron para energía (23.45 %) (NanoNature, s.f.).

lizada en este trabajo, el tercero muestra los principales resultados y, finalmente, el cuarto apartado presenta las conclusiones.

DESARROLLO DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN MÉXICO

Las nanotecnologías implican la manipulación de la materia en escala nanométrica; es decir, en dimensiones de entre 1 a 100 nanómetros (NNI, s.f.c.). La manipulación incluye el diseño, la caracterización, la producción y la aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas (Royal Society, 2004). En esta escala, la materia puede exhibir características físicas, químicas y biológicas distintas a las de los materiales en escala mayor.² Los nanomateriales ofrecen diferentes propiedades cuánticas que pueden ser explotadas en el desarrollo de aplicaciones industriales novedosas. Estamos frente a un paquete habilitador que puede ser utilizado en paralelo con otras tecnologías en diversas disciplinas y campos.

A partir de ese potencial, varios países han creado planes nacionales o políticas públicas específicas para aprovechar el potencial de estas tecnologías. El primero fue Estados Unidos, que lanzó la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI, por sus siglas en inglés) en el año 2000. Posteriormente, Japón, Corea, la Comunidad Europea, Alemania, China y Taiwán también lanzaron iniciativas nacionales. Más de 60 países establecieron programas de I+D en nanotecnologías a nivel nacional entre 2001 y 2004 (Roco, Hersam y Mirkin, 2011). En 2009 Japón destinó 890 millones de dólares para nanotecnologías; ese mismo año, Alemania invirtió 547 millones de dólares, y Corea 290 (*Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]*, 2009).

Pero el apoyo financiero a estas tecnologías no ha sido exclusivo de países desarrollados, también naciones emergentes en África, Asia y América Latina se han sumado a la onda nanotecnológica. La implementación de asociaciones público-privadas, los llamados *spin-off*, ha sido una estrategia común en la I+D de la tecnología de lo diminuto. En América Latina se pueden entrever

² Las nanotecnologías pueden considerarse como tecnologías interdisciplinarias, ya que han impulsado la colaboración entre investigadores para compartir conocimientos, herramientas y técnicas. Por ello, se dice que son la confluencia de descubrimientos en física, química, biología e ingeniería (Roco, Hersam y Mirkin, 2011).

estrategias muy similares ancladas en la competitividad vía innovación (Invernizzi y Foladori, 2014).

México, después de Brasil, participa de manera importante en el desarrollo de nanotecnologías en América Latina, según publicaciones científicas, patentes, infraestructura y recursos humanos (Foladori, Invernizzi, y Záyago-Lau, 2012; Záyago, Foladori, Appelbaum, y Arteaga, 2013). Sin embargo, México no cuenta con una estrategia o iniciativa nacional que establezca rutas de acción, áreas prioritarias, esquemas de vinculación (investigación- producción). Tampoco se tiene una cifra oficial del financiamiento público otorgado a este paquete tecnológico; mucho menos existe un desglose de los recursos ejercidos por áreas específicas. Lo más próximo a una política pública específica es lo contenido en el Programa Especial de Ciencia y Tecnología e Innovación (PECITI [antes PECYT]) (tabla 1).

Tabla 1. Nanotecnologías en los planes de CTI de México

Plan	Mención a nanotecnologías
	El Programa Especial considera a las nanotecnologías como área prioritaria de desarrollo en el ámbito de los materiales avanzados:
Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006 Tomo I	“... se consideran áreas estratégicas del conocimiento: - la información y las comunicaciones - la biotecnología - los materiales - el diseño y los procesos de manufactura - la infraestructura y el desarrollo urbano y rural, incluyendo sus aspectos sociales y económicos” (Conacyt, 2002, p. 49).
	Hace especial énfasis en el potencial para el desarrollo del sector energético y en relación con el Instituto Mexicano del Petróleo:
	“Principales líneas de investigación [del Instituto Mexicano del Petróleo] Nanotecnología y sus aplicaciones” (Conacyt, 2002, p. 12).
	En este tomo II del Programa Especial de Ciencia y Tecnología se consideran a las nanotecnologías como un área estratégica de materiales avanzados. Allí se anotan las áreas que serían de interés para su desarrollo (catalistas, polímeros, materiales nanoestructurados, películas delgadas, semiconductores, metalurgia, biomateriales, materiales ópticos, cerámicos avanzados y simulación y modulación de materiales y procesos) y se hace una breve reseña de qué centros de investigación, con qué equipo humano y material cuenta cada uno de ellos y cuáles son las potenciales interacciones con la industria:
Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006 Tomo II	“... se recomienda la formación de un comité científico ad hoc, para promover e instrumentar el Programa Nacional de Nanociencias con las características mencionadas en este documento, así como apoyar decididamente la red nacional de nanotecnología y otros esfuerzos actuales en esta dirección” (Conacyt, 2001, p. 203).
	También se señala la necesidad de elaborar un Programa Nacional de Nanotecnologías:
	“Programa Nacional del área Materiales Avanzados. Otro elemento importante de promoción del tema es la reciente creación del Programa Nacional de Nanotecnología, que intenta conjuntar los esfuerzos de las diferentes instituciones nacionales trabajando en el tema. [Nunca se creó]” (Conacyt, 2001, p. 192).
	Y una red de investigadores:
	“Cabe mencionar que el Conacyt está creando una Red de Nanociencias, considerando la atención a demandas específicas de las empresas” (Conacyt, 2001, p. 192).
Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2012	El Programa 2008-2012 únicamente hace referencia al carácter prioritario de las nanotecnologías:
	“Otros temas relevantes de fuerte dinámica y atención prioritaria son la biotecnología, la nanotecnología y los materiales” (Conacyt, 2008b).
	En el programa de 2014-2018 se repite el carácter prioritario:
Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018	“De manera transversal, a través de los instrumentos existentes, se dará especial atención a los siguientes temas: automatización y robótica, desarrollo de la biotecnología, desarrollo de la genómica, desarrollo de materiales avanzados, desarrollo de nanomateriales y de nanotecnología, conectividad informática y desarrollo de las tecnologías de la información, la comunicación y las telecomunicaciones, ingenierías para incrementar el valor agregado en las industrias, Manufactura de alta tecnología” (Conacyt, 2014, p. 51).

Fuente: Foladori *et al.* (2015, p. 288).

Si bien marginal, la Ley de Ciencia y Tecnología (LCYT) es otro instrumento que ha acompañado a los PECITI en el direccionamiento de las nanotecnologías en el país. La LCYT del 2002, promovió la creación de empresas como *spin-off* de los Centros Públicos de Investigación y permitió a los investigadores convertirse en empresarios mediante la comercialización del conocimiento desarrollada en dichos centros.

A pesar de que no hay un registro de financiamiento dedicado a las nanotecnologías, puede ubicarse información de algunos proyectos específicos. Por ejemplo, en la creación de la Red Nacional de Nanociencias y Nanotecnologías (RNZN), instituida en 2009, se destinaron 700 mil dólares y actualmente cuenta con 453 investigadores (RNZN, DAIC y Conacyt, 2008). Se han destinado fondos para la creación de laboratorios nacionales de nanotecnologías: el Nanotech (del Centro de Investigación en Materiales Avanzados [Cimav]) y el LINAN (del Instituto Potosino de Investigación Científica [IPICYT]) de aproximadamente 1.8 millones de dólares cada uno (Conacyt, 2008a). Hay muy pocas referencias que especifiquen el total del financiamiento a las nanotecnologías en México. Algunos autores sugieren que se han invertido 60 millones de dólares entre 2005 y 2010 (Takeuchi y Mora, 2011). Al realizar una primera revisión al Programa de Estímulo a la Innovación (PEI),³ del Conacyt, encontramos que entre 2010 y 2017 se han otorgado alrededor de 50 millones de dólares a proyectos de nanotecnologías.⁴ Esto brinda una idea de su importancia en el contexto del financiamiento de la ciencia en México, pero dicha cifra es muy alejada de lo que se destina en Estados Unidos, ya que en diecinueve años este país ha invertido cerca de 27 mil millones de dólares (NNI, 2018).

Los procedimientos habilitados con nanotecnologías pueden mejorar la captación, generación, distribución y utilización de la energía (Hessen, Ministry of Economy, Transport, Urban and Regional Development, 2008). Por ejemplo, pueden optimizar la captura de luz en paneles solares, viabilizar la creación de enzimas en la produc-

ción de etanol, obtener baterías más livianas y potentes, perfeccionar la captación de calor, coadyuvar en la producción de materiales más resistentes y asegurar un mayor volumen de transportación de energía (NNI, s.f.b.). En México se explicitó la importancia de vincular a las nanotecnologías con la energía en el PECYT 2001-2006. Sin embargo, no se incluyó en el documento una mecánica de operación, ni un presupuesto específico, lo que quitó efectividad a la iniciativa (Cimav-SE, 2008). En la Reforma Energética de 2013 se eliminaron las restricciones de inversión al sector por parte de agentes extranjeros. Hay un ciclo de acciones impulsadas por la nueva administración (2018-2024) que va en contrasentido a esta reforma. Al término de esta investigación, todavía no se tenía conocimiento de los nuevos lineamientos en materia de desarrollo científico, por lo que se desconoce cuál será la ruta de articulación de las nanotecnologías con el sector energético.

METODOLOGÍA

Las nanotecnologías poseen la capacidad de insertarse en todas las fases de la cadena de suministro energético, desde la fuente primaria, atravesando la captación, la conversión, la distribución, el almacenamiento, hasta llegar a su uso final (figura 1). Estas aplicaciones pueden implementarse de manera simultánea o en combinación. Prueba de ello radica en la diversidad de productos que actualmente podemos encontrar en el mercado internacional y que ilustran la evolución de las nanotecnologías en este sector. Empresas como Evonik Industries, Envia Systems y Nexeon han desarrollado baterías nanohabilitadas; Bing Energy produce celdas de combustible; Baker Hughes y FTS International desarrollan productos para combustibles fósiles, y Asahi Glass, CIMA Nanotech, Magnolia Solar y CentroSolar Glas realizan celdas solares nanohabilitadas (Nanowerk, 2019).

Para el desarrollo de este trabajo, se implementaron cinco estrategias de búsqueda con la finalidad de encontrar la información relevante sobre las aplicaciones nanotecnológicas en el sector energético de México. La primera consistió en la identificación de publicaciones científicas mediante un análisis bibliométrico con datos tomados de la *Web of Science* (wos) para el periodo 2000-2019. Se compilaron todos los artículos con al menos un

³ El PEI es un programa dirigido a empresas mexicanas inscritas en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT), que realicen actividades de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (IDTI) en el país, de manera individual o en vinculación con Instituciones de Educación Superior públicas o privadas nacionales (IES) y/o Centros e Institutos de Investigación públicos nacionales (CI). Busca incentivar, a nivel nacional, la inversión de las empresas en actividades y proyectos relacionados con la investigación, desarrollo tecnológico e innovación a través del otorgamiento de estímulos complementarios, de tal forma que estos apoyos tengan el mayor impacto posible sobre la competitividad de la economía nacional (Conacyt, 2019, para. 2).

⁴ La cifra oficial es de: \$ 964 191 525 pesos mexicanos (MXN).

autor adscrito a una institución mexicana.

En la segunda estrategia se indagó sobre grupos que realizaran investigación sobre nanotecnologías y energía. Para ello, se analizaron los Cuerpos Académicos (CA) del Programa de Desarrollo Profesional para Profesores (Prodep) de la Secretaría de Educación Pública (SEP).⁵

Las instituciones afiliadas al programa de CA del Prodep incluye a universidades públicas estatales y federales, universidades politécnicas, universidades tecnológicas, institutos tecnológicos federales, institutos tecnológicos descentralizados, politécnicos y escuelas normales.

En la tercera estrategia desplegamos una búsqueda manual para ubicar a los grupos de investigación que no forman parte de los CA del Prodep. La lista comprende la UNAM, el IPN, todos los centros de investigación del Conacyt; otras universidades estatales o tecnológicos públicos y las principales instituciones privadas del país.

La cuarta estrategia se implementó para identificar las patentes otorgadas en México por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) y referentes a las aplicaciones de las nanotecnologías en energía. Una vez obtenidos los registros se realizó un filtrado manual para eliminar duplicados o patentes que no estaban relacionadas con el tema. Posteriormente, se revisaron las patentes otorgadas a los tres centros públicos de investigación especializados en energía del país: el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

En la quinta estrategia identificamos a las empresas mexicanas que fabrican productos nanotecnológicos orientados a la generación, conversión, distribución y almacenamiento de energía. El punto de partida fue un inventario de empresas de nanotecnologías en México (Záyago *et al.*, 2015) y las empresas que obtuvieron financiamiento en el marco del Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) del Conacyt.

Los datos obtenidos se organizaron de acuerdo con el potencial de aplicación descrito en la figura 1: “fotovoltaica”, “celdas de combustible”; “almacenamiento/baterías”; “electricidad (generación/conducción)”; “fósil”; “hidrógeno”; “hidráulica”; “térmica”; “lumínica” y “eólica”. Además, se agregaron las categorías de “bio-

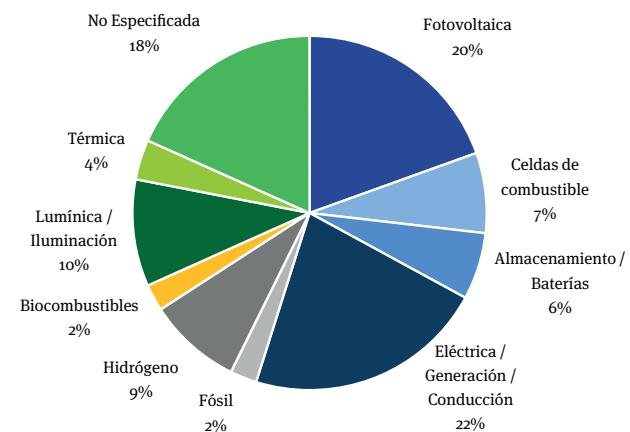
combustibles” y “no especificada”.⁶

RESULTADOS

Primera estrategia: artículos científicos

El análisis bibliométrico arrojó 158 artículos científicos publicados entre 2000 y 2019 con al menos un autor adscrito a una institución mexicana. Posteriormente, se revisaron los resúmenes de las publicaciones y se descartaron aquellos que no estuvieran directamente relacionados con el tema. Se encontraron 82 artículos. De ellos, la mayor parte (18) tratan sobre energía eléctrica (generación y conducción); le siguen artículos sobre energía fotovoltaica (16); lumínica/iluminación (8); tecnologías de hidrógeno (7); celdas de combustible (6); almacenamiento/baterías (5); térmica (3), y energía fósil y biocombustibles con 2 respectivamente. Se encontraron 15 artículos cuyo contenido no pudo ser definido en alguna categoría, por lo que se clasificaron como “no especificada”. El gráfico 1 muestra la distribución porcentual de los artículos encontrados en la wos.

Gráfico 1. Distribución porcentual de los artículos sobre aplicaciones de nanotecnologías a la energía en México



Fuente: elaboración propia.

⁵ Consultar en <http://promep.sep.gob.mx/ca1/>

⁶ Los artículos o proyectos que entran en esta categoría no especifican el tipo de energía al que se destinan. Existen varios proyectos de ciencia básica que dentro de sus objetivos mencionan que los resultados serán utilizados en más de una rama industrial (p.ej.: posibles aplicaciones en la industria médica, biotecnológica o energía), por ello, no fue posible asignarles un destino específico del sector. Se hará la misma clasificación para los productos y las patentes.

Se encontraron publicaciones de la UNAM; el Instituto Politécnico Nacional; la Universidad Autónoma de Nuevo León; la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; el Instituto Mexicano del Petróleo, la Universidad Autónoma Metropolitana (Unidad Iztapalapa); el Tecnológico de Monterrey y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

Los trabajos se publicaron en revistas de México, Estados Unidos, España, Canadá, Francia, Italia, China, India, Chile e Inglaterra. Dentro de estas revistas se encuentran el *International Journal of Hydrogen Energy*, *International Journal of Electrochemical Science*, *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, *Journal of Alloys and Compounds*, *Journal of Applied Physics*, *Journal of Luminescence*, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, *Physical Chemistry Chemical Physics*, *Superlattices and Microstructures*, *Acta Microscópica*, *Applied Surface Science*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, *Journal of Materials Science*, *Journal of Molecular Modeling*, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, *Journal of Physical Chemistry*, *Journal of Physics Condensed Matter*, *Materials Characterization*, *Materials Science in Semiconductor Processing*, *Microporous and Mesoporous Materials*, *Optics Express*, Revista de Metalurgia, Revista Mexicana de Ingeniería Química, y la Revista Romana de Materiales (*Romanian Journal of Materials*).

La mayor parte de las publicaciones que hablan de aplicaciones de nanotecnologías en la energía en el país se han enfocado al estudio de la generación y conducción de electricidad, así como a las tecnologías fotovoltaicas. Los datos sugieren que la participación de los académicos en temas relacionados con las energías fósiles y los biocombustibles en los últimos 19 años ha sido limitada.

Segunda estrategia: Cuerpos Académicos

Se realizó una investigación en el motor de búsqueda de la base de datos de los Cuerpos Académicos (CA) reconocidos por el Prodep, utilizando la palabra clave “nano”. Se seleccionaron todos los criterios de búsqueda por Subsistema (universidades públicas, estatales y afines, universidades politécnicas escuelas normales, universidades tecnológicas, institutos tecnológicos, y universidades interculturales), por área de conocimiento (Agropecuarias, Sociales y Administrativas, Salud,

Ingeniería y Tecnología, Naturales y Exactas, y Educación, Humanidades y Artes) y por grado de consolidación (Cuerpo Académico Consolidado [CAC], Cuerpo Académico en Consolidación [CAEC], y Cuerpo Académico en Formación [CAEF]). Se descargaron los resultados en conglomerados institucionales. Se detectaron 173 CA que contenían la palabra “nano” en sus áreas de investigación. De ellos, se revisaron todas las Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC) para determinar aquellos grupos que trabajan sobre nanotecnologías y energía.

Existen 25 CA que desarrollan 48 LGAC relacionadas con desarrollos de aplicaciones sobre el tema (tabla 2). De ellos, 16 trabajan con energías fotovoltaicas (33 %); cinco con celdas de combustible (10.4 %); cinco con almacenamiento/baterías (10.4 %), y cinco de tecnologías para hidrógeno (10.4 %); tres CA investigan biocombustibles (6.25 %); dos energía fósil (4.16 %); un CA investiga energía eléctrica (2 %) y, otro más, energía eólica (2 %). Hay 10 proyectos (20.8 %) en los que no se especificó ni se detectó una posible categoría de aplicación, por lo que fueron clasificados como “No Especificada”. A continuación, detallamos el número de LGAC y tipo de energía por institución.

La Universidad Autónoma de Nuevo León es la que tiene más CA investigando sobre el tema, con seis. Le sigue la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla con cinco; la Universidad de Guadalajara con tres; la Unidad Querétaro del Cinvestav (3); las Universidades Politécnica de Tlaxcala y Politécnica de Guerrero (3); la Universidad Politécnica de Pachuca (2), los Institutos Tecnológicos de Tijuana y Toluca (2); las Universidades Autónomas de Querétaro, del Estado de Hidalgo y Guanajuato (2); y los Institutos Tecnológicos de Cancún, Oaxaca, Superior de Cajeme, Ixtapaluca, las Universidades Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Autónoma de Aguascalientes y Autónoma de Coahuila, Autónoma de San Luis Potosí, Autónoma del Carmen, Autónoma del Estado de Morelos, del Istmo, Universidad Politécnica del Valle de Toluca y la Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla con un proyecto, respectivamente.

Tercera estrategia: instituciones que no forman parte del Prodep

Se realizó una búsqueda en el sitio: <http://www.cic-ctic.unam.mx/> para identificar los centros de investigación dentro de la UNAM. Se encontraron 30 centros, divididos en tres áreas: Ciencias Físico-Matemáticas (13 centros); Ciencias Químico-Biológicas y de la Salud (10 centros), y Ciencias de la Tierra e Ingenierías (siete centros). Posteriormente, se revisaron las líneas de investigación y proyectos vigentes de todos los investigadores adscritos a los 30 centros UNAM utilizando la palabra clave “nano”. Después, se ubicaron aquellos proyectos directamente relacionados con el sector energético. La mayor parte de los proyectos se encontraron en el área de Ciencias Físico-Matemáticas, donde las energías renovables están ocupando un lugar importante. La UNAM cuenta con 34 proyectos (tabla 3) que se distribuyen, según la aplicación, de la siguiente manera: energía fotovoltaica, nueve (26.47 %); celdas de combustible, seis (17.64 %); electricidad/generación/conducción, seis (17.64 %); no especificada, cuatro (11.76 %); almacenamiento/baterías, dos (5.88 %); fósil, dos (5.88 %); hidrógeno, dos (5.88 %); lumínica/ iluminación, dos (5.88 %); hidráulica, uno (2.94 %).

El Instituto de Energías Renovables (IER) cuenta con ocho proyectos; el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA), seis; el Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNYN), cinco; el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) Instituto de Química (IQ), (4); Instituto de Física (IF), tres; Instituto de Ciencias Nucleares (ICN), dos; Instituto de Ciencias Físicas (ICF) e Instituto de Ingeniería (II), uno cada uno.

En la tabla 4 detallamos la información sobre los centros de investigación del IPN que están desarrollando proyectos de investigación sobre nanotecnologías aplicadas a la energía. Al igual que con la UNAM, se detectaron primero todos los centros de investigación del IPN.⁷ Se encontraron 39 centros divididos en tres áreas: Centros de Investigación y Posgrado (19 centros); Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) (19 centros), y el Cinvestav.

Se encontraron 37 proyectos de investigación. La energía fotovoltaica, concentra la mayor parte, con 17 proyectos (45.9 %). Le siguen las tecnologías de hidrógeno

y electricidad /generación /conducción, con cuatro cada una (10.8 %); celdas de combustible y lumínica / Iluminación, tres respectivamente (8.1 %); almacenamiento/baterías, dos (5.4 %), y energía fósil, biocombustibles y eólica, uno respectivamente (2.7 %). Únicamente en dos proyectos no se especificó una categoría (5.4 %).

La Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA), lidera la investigación de nanotecnologías aplicadas a la energía con siete proyectos. Le siguen la Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM), y el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (Cicata), Unidad Altamira, con cinco proyectos cada una respectivamente. El Cicata, Unidad Legaria, el Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIITEC) y el Centro Mexicano para la Producción más Limpia (CMP+L), tienen cuatro proyectos cada uno. La Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica [ESIME] (Culhuacán) y la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractiva (ESIQIE), tres proyectos cada una. El Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías (CNMN) y el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (Querétaro), un proyecto respectivamente.

En el caso del Cinvestav (tabla 5), hay 10 proyectos de investigación sobre el tema. En la mitad de los proyectos no se especifica su área de aplicación. Existen cuatro proyectos de energía eléctrica, en el Departamento de Ingeniería Eléctrica (Sección Electrónica del Estado Sólido), y un proyecto para celdas de combustible en la Unidad Saltillo.

La tabla 6 presenta los centros de investigación del Conacyt que tienen proyectos de investigación sobre nanotecnologías aplicadas a la energía. Para llegar a este resultado, se revisó el Directorio de Centros de Investigación Conacyt.⁸ Se encontraron 29 centros divididos en cinco coordinaciones: Materiales Manufactura Avanzada y Procesos Industriales (siete centros); Física y Matemáticas Aplicadas y Ciencia de Datos (seis centros); Medio Ambiente, Salud y Alimentación (ocho centros); Política Pública y Desarrollo Regional (cuatro centros), y Procesos de la Sociedad y la Cultura (cuatro centros). Posteriormente, se revisaron las líneas de investigación, los proyectos y los CVU de cada investigador al interior de todos los centros para deter-

⁷ Ver página <https://www.ipn.mx/posgrado/conocenos/directorio-centros.html>

⁸ Disponible en <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/sistema-de-centros-de-investigacion/directorio-de-centros-de-investigacion-conacyt>

minar quiénes estaban desarrollando proyectos de nanotecnologías aplicadas a la energía. Se encontraron 39 proyectos de investigación sobre el tema. La energía fotovoltaica tiene 16 proyectos (41 %), celdas de combustible e hidrógeno, cinco (12.8 %) respectivamente; almacenamiento/ baterías, tres (7.69 %); fósil, dos (5.12 %); electricidad / generación / conducción y biocombustibles, uno (2.56 %) cada una; no especificada, seis (15.38 %).

El Cimav lidera la investigación en el tema, al concentrar 14 proyectos, nueve en la Unidad Chihuahua y cinco en la Unidad Monterrey. Le siguen el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (Cideteq), nueve; el Centro de Investigaciones en Óptica AC (cio), seis; el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), cinco; el Centro de Investigación Científica de Yucatán (cicy), cuatro; y el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), un proyecto.

La tabla 7 presenta otras universidades o institutos en los cuales también se encontraron proyectos de investigación de nanotecnologías aplicadas a la energía. Se revisaron los motores de búsqueda de las universidades públicas y privadas con mayor actividad científica de nanotecnologías en el país, así como los portales de información donde aparecía vinculación entre los centros ya revisados y otras universidades.

Se encontraron nueve proyectos de investigación sobre el tema. En este caso, tres son de energía fotovoltaica y tres de electricidad / generación / conducción; dos de almacenamiento / Baterías, y un proyecto no especificado. De ellos, el Tecnológico de Monterrey tiene dos; y la Universidad de Sonora, la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, Universidad de Montemorelos AC, el Instituto Tecnológico Superior Progreso, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente AC y el Instituto Tecnológico de Hermosillo tienen un proyecto cada uno.

Cuarta estrategia: patentes

Se consultaron las bases de datos de patentes de la *World Intellectual Property Organization* (WIPO),⁹ para encontrar las concernientes a la aplicación de nanotecnologías en el sector energético y otorgadas en México. Se encontraron 133 patentes y se descartaron aquellas que no tuvieran relación directa o explícita con aplicaciones de nanotecnologías en energía. Los resultados arrojaron 15 patentes entre 2002 y 2016. La tabla 8 muestra los registros por título, número de solicitud y empresa o inventor solicitante.

Se consultaron también las patentes del Instituto Mexicano del Petróleo.¹⁰ Se encontraron 1 042 patentes para el periodo de entre 1967 y 2014; la primera patente de nanotecnología se presentó en 2002 y se reconoció en 2006. Después de filtrar aquellas que fuesen exclusivamente de nanotecnologías, se encontraron 14 sobre energía, las cuales fueron concedidas entre 2006 y 2018. La tabla 9 presenta los resultados por fecha de presentación, de concesión y de caducidad, así como el título de la patente. El INEEL y el ININ no tienen patentes de nanotecnologías aplicadas a la energía en sus portales de información.

Quinta estrategia: empresas

Existen empresas que desarrollan productos nanohabilitados para el sector energético en México. En este caso, se encontraron nueve compañías involucradas en actividades de I+D y producción sobre el tema (tabla 10). En las categorías mencionadas, hay seis empresas desarrollando productos para energía eléctrica / generación / conducción; tres que dedican esfuerzos a fotovoltaica; una a almacenamiento / baterías, y cuatro sin especificar. Prolec GE, es una empresa localizada en Monterrey y, de acuerdo con su portal web, se dedica al diseño, fabricación y venta de productos y soluciones para atender las necesidades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Eso explica que sus cinco proyectos de nanotecnologías estén destinados a esta categoría. Las empresas Vitro, Tecno Procesos Aberi e IMR Solutions desarrollan materiales nanoestructura-

⁹ Disponible en <https://patentscope.wipo.int/search/es/result.jsf?currentNavigationRow=1&prevCurrentNavigationRow=14&office=&prevFilter=%26fq%3DCTR%3AMX&maxRec=133&listLengthOption=10>

¹⁰ Disponibles en <https://datos.gob.mx/busca/dataset/patentes-del-imp>

dos para celdas solares. La empresa Proyectos Sustentables de la Península produce nanotubos endoedrales para aplicación en baterías de alta eficiencia, y *Research and Technology* (R&D) desarrolla conductores y semiconductores nanoestructurados para mejorar el uso y conducción de electricidad. *Magnekon*, *Swordfish Energy* y *3G* realizan productos que no pudieron clasificarse en ninguna categoría.

CONCLUSIONES

La investigación aquí expuesta recoge datos sobre publicaciones científicas, grupos de investigación, patentes y empresas que desarrollan nanotecnologías aplicadas a la energía. Hasta el momento es la primera investigación que sistematiza y agrupa este tipo de información sobre la triada nano + energía + México. En el país hay 129 proyectos de investigación de universidades e instituciones públicas; de ellos, 34.8 % (45 proyectos) son sobre energías fotovoltaicas. El área de aplicación que le sigue es la energía eléctrica, con 13.9 % de los proyectos (18). Con este mismo número se encuentran los proyectos sin clasificación (No Especificada). Muy cerca están las celdas de combustible, con 11.62 % del total de proyectos (15), y las tecnologías de hidrógeno, con 8.5 % (11 proyectos). Las tecnologías de almacenamiento tienen 7 % (nueve proyectos); las energías lumínica y fósil 3.87 % respectivamente (cinco proyectos cada una); los biocombustibles 1.5 % (dos proyectos), y la energía eólica únicamente con 0.77 % (un proyecto). Lo anterior deja ver una tendencia hacia la diversificación en la matriz de investigación sobre aplicaciones nanotecnológicas en energía.

Hay un número limitado de empresas que están desarrollando productos para energía eléctrica y que aplican nanotecnologías en su funcionamiento o manufactura. Prolec, una empresa trasnacional, domina este bloque. A pesar de ello, ya se están dando pasos en la producción de tecnologías fotovoltaicas. Tecno Procesos Aberi, IMR Solutions, y Proyectos Sustentables de la Península son micro y pequeñas empresas que ya cuentan con financiamiento para desarrollar aplicaciones nanotecnológicas en la energía fotovoltaica y en baterías de alta duración. En materia de propiedad intelectual, de las 15 patentes de la WIPO, al menos seis son para energía fósil, solicitadas por empresas trasnacionales como Halliburton y Elkem

Aselkem. Las 14 patentes que el IMP ha obtenido en los últimos 13 años son para la industria petrolera.

Respecto a las nanotecnologías, resulta necesario diseñar una agenda estatal que determine hacia qué sectores debe encaminarse la investigación financiada con recursos públicos. Es evidente la desarticulación que existe entre lo que se investiga, patenta y produce. Las universidades y centros de investigación estudian mayoritariamente tecnologías fotovoltaicas, las empresas producen tecnologías para la energía eléctrica, y la mayoría de los registros de patentes son para energía fósil. El problema fundamental radica en que, a pesar de que la producción en el mercado es relativamente libre, en el desarrollo de esta investigación se revisaron empresas que han recibido financiamiento público para proyectos de I+D, por ello resulta significativa la falta de articulación entre lo que se investiga y lo que se produce. Este es un primer ejercicio investigativo que sentará bases para realizar diagnósticos posteriores, de mayor alcance y profundidad.

REFERENCIAS

- Appelbaum, R., Záyago Lau, E., Foladori, G., Parker, R., Villa, L., Robles-Belmont, E., y Arteaga, E. (2016). Inventory of nanotechnology companies in Mexico. *Journal of Nanoparticle Research*, 18(43), 1-13. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11051-016-3344-y>
- Centro de Investigación en Materiales Avanzados [Cimav], y Secretaría de Economía [SE]. (2008). *Diagnóstico y prospectiva de la nanotecnología en México*. México, D.F.: Cimav y SE.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [Conacyt] (s.f.). *Directorio de Centros de Investigación Conacyt*. Recuperado de <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/sistema-de-centros-de-investigacion/directorio-de-centros-de-investigacion-conacyt>. Consultado en febrero de 2020.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [Conacyt]. (2001). *Programa Especial de Ciencia y Tecnología. Tomo II*. México: Conacyt.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [Conacyt]. (2002, diciembre 12). *DECRETO por el que se aprueba y se expide el programa denominado Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006*. México: Conacyt. Recuperado de [http://www.siicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-peciti/2001-programa-especial-de-ciencia-y-tecnologia-2001-2006/file](http://www.siicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-peciti/2001-programa-especial-de-ciencia-y-tecnologia/621-programa-especial-de-ciencia-y-tecnologia-2001-2006/file)
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [Conacyt]. (2008a). *Informe de Labores 2008*. México: Conacyt. Recuperado de <http://www.siicyt.gob.mx/index.php/transparencia/informes-conacyt/informe-de-labores/317-informe-de-labores-2008/file>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [Conacyt]. (2008b). *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2012*. México: Conacyt. Recuperado de <http://www.siicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-peciti/2008-programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion/622-peciti-2008-2012/file>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [Conacyt]. (2014). *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018*. México: Conacyt. Recuperado de <http://www.siicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-peciti/2014-programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion/623-peciti-2014-2018/file>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [Conacyt]. (2019). *Programa de Estímulos a la Innovación*. Recuperado de <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/programa-de-estimulos-a-la-innovacion>
- Coordinación de la Investigación Científica (s.f.). *Institutos y Centros*. Recuperado de <http://www.cic-ctic.unam.mx/>. Consultado en febrero de 2020.
- Delgado-Ramos, G. C. (2014). Nanotechnology in Mexico: Global trends and national implications for policy and regulatory issues. *Technology in Society*, 37, 4-15. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2013.09.005>
- Foladori, G., Arteaga, E., Záyago-Lau, E., Appelbaum, R., Robles-Belmont, E., Villa, L., y Leos, V. (2015). Nanotechnology in Mexico: Key Findings Based on OECD Criteria. *Minerva*, 53(3), 279-301. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11024-015-9281-6>
- Foladori, G., Invernizzi, N., y Záyago-Lau, E. (2012). *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina*. Ciudad de México: Miguel Ángel Porrúa.
- Gobierno de México (s.f.a.). *Cuerpos académicos reconocidos por PRODEP*. Recuperado de <http://promep.sep.gob.mx/ca1/>. Consultado en febrero de 2020.
- Gobierno de México (s.f.b.). *Datos abiertos. Patentes del IMP*. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/patentes-del-imp>. Consultado en febrero de 2020.
- Hessen Ministry of Economy, Transport, Urban and Regional Development (2008). *Application of Nano-technology in the Energy Sector*. Recuperado de <http://www.hessen-nanotech.de/dynasite.cfm?dsmid=15523>. Consultado en febrero de 2020.
- Instituto Politécnico Nacional (s.f.). *Centros de Investigación y Posgrado*. Recuperado de <https://www.ipn.mx/posgrado/conocenos/directorio-centros.html>. Consultado en febrero de 2020.

- Invernizzi, N., y Foladori, G. (2014). ¿Repiriendo la historia? Nanotecnología y riesgos ocupacionales. En P. Kreimer, H. Vessuri, L. Velho, y A. Arellano, *Perspectivas latinoamericanas en el estudio social de la ciencia, la tecnología y la sociedad* (pp. 405-420). Ciudad de México: Siglo XXI Editores.
- NanoNature. (s.f.). *Nano* [Nanotech database by Nature]. Recuperado de https://nano.nature.com/?gclid=EAIAIQobChMI9Ozrg8m45wIVB77ACh0aIQDWEAYASAAEgI-3fD_BwE
- Nanowerk. (2019). *Nanotechnology Products and Applications*. Recuperado de <https://www.nanowerk.com/products/products.php>
- National Nanotechnology Initiative [NNI]. (s.f.a). *The National Nanotechnology Initiative Supplement to the President's 2020 budget*. Recuperado de <http://nano.gov/about-nni/what/funding>
- National Nanotechnology Initiative [NNI]. (s.f.b). *Sustainable Energy Applications*. Recuperado de <http://www.nano.gov/you/nanotechnology-benefits>
- National Nanotechnology Initiative [NNI]. (s.f.c). *What It Is and How It Works / Nano*. Recuperado de <https://www.nano.gov/nanotech-101/what>
- National Nanotechnology Initiative [NNI]. (2018). *The National Nanotechnology Initiative Supplement to the President's 2019 Budget*. Recuperado de <https://www.nano.gov/sites/default/files/NNI-FY19-Budget-Supplement.pdf>
- Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]. (2009). *Working Party on Nanotechnology: Inventory of national science, technology and innovation policies for nanotechnology 2008*. Directorate for Science, Technology and Industry Committee for Scientific and Technological Policy. Recuperado de [http://www.oecd.org/official-documents/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DS-TI/STP/NANO\(2008\)18/FINAL&docLanguage=En](http://www.oecd.org/official-documents/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DS-TI/STP/NANO(2008)18/FINAL&docLanguage=En)
- Red Nacional de Nanociencias y Nanotecnologías [RNYN], Dirección de Redes, [DAIC], y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [Conacyt]. (2008, febrero). *Diagnóstico y Prospectiva de la Nanotecnología en México*. Recuperado de <http://2006-2012.conacyt.gob.mx/fondos/institucionales/Tecnologia/Avance/Documents/Red-Nanociencias-y-Nanotecnologia.pdf>
- Roco, M. C., Hersam, M. C., y Mirkin, C.A. (2011). *Nanotechnology research directions for societal needs in 2020. Retrospective and outlook*. Netherlands: Springer. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1168-6>
- Royal Society. (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties*. Londres: Royal Society.
- Takeuchi, N., y Mora, M. E. (2011). Divulgación y formación en nanotecnología en México. *Mundo Nano*, 4(2), 59-64.
- World Intellectual Property Organization [WIPO] (s.f.). PATENTSCOPE. Recuperado de <https://patentscope.wipo.int/search/es/result.jsf?currentNavigationRow=1&prevCurrentNavigationRow=14&office=&prevFilter=%26fq%3DCTR%3AMX&maxRec=133&listLengthOption=10>. Consultado en febrero de 2020.
- Záyago, E., Foladori, G., y Arteaga, E. (2012). Toward an Inventory of Nanotechnology Companies in Mexico. *Nanotechnology Law & Business Journal*, 9(3), 283-292.
- Záyago, E., Foladori, G., Appelbaum, R., y Arteaga, E. (2013). Empresas nanotecnológicas en México: hacia un primer inventario. *Estudios Sociales*, XXI (42), 9-26.
- Záyago, E., Foladori, G., Villa, L., Appelbaum, R., y Arteaga, E. (2015). Análisis Económico Sectorial de las Empresas de Nanotecnología en México. *Documentos de Trabajo Instituto de Estudios Latinoamericanos [IELAT]*, (79), 1-31.



NOTAS DE AUTOR

^a Estudiante de doctorado en Estudios del Desarrollo en la Universidad Autónoma de Zacatecas. Sus líneas de investigación son: Ciencia, Tecnología y Desarrollo, Energía y Desarrollo.

ORCID: oooo-0002-1430-3091

Últimas publicaciones:

- Foladori, G., Arteaga-Figueroa, E., Robles-Belmont, E., Záyago-Lau, E., y Appelbaum, R. (2016). Cadena de valor de las nanotecnologías en México. *Revista Digital universitaria*, 17(4), 1–8.
- Foladori, G., Robles-Belmont, E., Arteaga-Figueroa, E. R., Appelbaum, R., y Zayago-Lau, E. (2018). Patents and nanotechnology innovation in Mexico. *Recent Patents on Nanotechnology*, 12(3). Recuperado de <https://doi.org/10.2174/1872210512666180803095459>
- Invernizzi, N., Foladori, G., Robles-Belmont, E., Záyago-Lau, E., Arteaga-Figueroa, E., Battaglioni, C., Carrozza, T., Chiancone, A., y Urquijo, W. (2016). Nanotecnologías dirigidas a necesidades sociales. Contribuciones de la investigación latinoamericana en medicina, energía y agua. *Sociología y tecnociencia/Sociology & Technoscience/ Sociologia e tecnociência*, 2(5), 1-30.

^b Profesor – Investigador de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel II. Sus líneas de investigación son: Ciencia, Tecnología y Desarrollo, Capital Global y Estudios Geoestratégicos.

ORCID: oooo-0002-3670-8356

Últimas publicaciones:

- Invernizzi, N., Foladori, G., Carroza, Tomás J., Záyago-Lau, E., y Poerschke de Quevedo, J.M. (2020). Políticas de nanotecnología em Argentina, Brasil e México: emulação e adaptação. *Revista de Estudos e Pesquisas sobre as Américas*, 3(3).
- Foladori, G., Robles-Belmont, E., Arteaga-Figueroa, E. R., Appelbaum, R., y Zayago-Lau, E. (2018). Patents and nanotechnology innovation in Mexico. *Recent Patents on Nanotechnology*, 12(3). Recuperado de <https://doi.org/10.2174/1872210512666180803095459>

- Záyago-Lau, E., Foladori, G., y Invernizzi, N. (eds.) (2020). Relevancia social de las nanotecnologías en América Latina. México: Miguel Ángel Porrúa (IBSN en trámite).

^c Profesor – investigador de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel III. Sus líneas de investigación son: Capital Global y Estudios Geoestratégicos. Ciencia, Tecnología y Desarrollo, Capital, Ambiente y Desarrollo.

ORCID: oooo-0002-7441-3233

Últimas publicaciones:

- Foladori, G. (2017). Occupational and environmental safety standards in nanotechnology: International Organization for Standardization, Latin America and beyond. *The Economic and Labour Relations Review*, 28(4), 538–554. Recuperado de <https://doi.org/10.1177/1035304617719802>
- Foladori, G., y Bejarano, F. (2017). Las limitaciones de la regulación capitalista de las sustancias químicas. *Mundo Siglo XXI*, 43(Sept-Dic).
- Foladori, G., y Invernizzi, N. (2019). Perspectivas e intereses en la construcción de normas de salud ocupacional. El caso de las nanopartículas de plata. *Visa Sanitaria Em Debate*, 7(2), 28–36.

ANEXOS

Figura 1. Ejemplos de aplicaciones potenciales de las nanotecnologías en la cadena de valor del sector energético

Fuentes de energía	→	Conversión de energía	→	Distribución de energía	→	Almacenamiento de energía	→	Utilización de energía
Energía renovable		Celdas de combustible		Redes inteligentes		Energía eléctrica		Iluminación
Fotovoltaica: celdas nano-optimizadas (poliméricas, colorantes, quantum dots, películas delgadas, unión múltiple, recubrimientos anti reflejantes.		Membranas nano optimizadas y electrodos para pilas de combustible eficientes (pem) para aplicaciones en automóviles / electrónica móvil.		Nanosensores (por ejemplo, magnéticos) para la gestión inteligente y flexible de rejillas capaces de gestionar fuentes de energía altamente descentralizadas.		Baterías: baterías de iones de litio (Li-ion) optimizados por electrodos nanoestructurados y láminas cerámicas flexibles, con aplicación en la electrónica móvil, automóviles, gestión de cargas flexibles en redes eléctricas (a medio plazo).		Sistemas de iluminación energéticamente eficientes (por ejemplo, LEDS y OLEDs).
Eólica: Nanocomuestos para palas más ligeras y resistentes, nanorecubrimientos anticorrosivos para motopropulsores.		Termoeléctrica		Transmisión de energía				Aislamiento térmico
Geotérmica: Nanorecubrimientos y compuestos para equipo pesado de perforación.		Compuestos nanoestructurados (diseño de la interfaz, nanovarillas) para una generación eficiente de energía termoeléctrica (por ejemplo, el uso del calor residual en los automóviles o el calor del cuerpo para la electrónica personal [largo plazo]).		Los superconductores: sistema para optimizar altas temperaturas basado en el diseño de interfaces a nanoscalas para la transmisión de energía sin pérdidas.		Supercondensadores: nanomateriales para electrodos (aerogeles de carbono, nanotubos de carbono, metal (óxidos) y electrolitos para densidades de energía más altas.		
Biomasa: optimización de la agricultura con precisión nanométrica (nanosensores, sistemas de liberación controlada y almacenamiento de plaguicidas y nutrientes).		Generación de hidrógeno		Líneas eléctricas de nanotubos de carbono: cables superconductores basados en nanotubos de carbono (largo plazo).				
Energía hidráulica-mareas: Nanorecubrimientos para protección anticorrosión.		Turbinas de gas		Nanocatalizadores y nuevos procesos para la generación de hidrógeno más eficiente (por ejemplo, fotoeléctrico, electrólisis, biofotónica).		Transmisión inalámbrica de energía: transmisión de energía por láser, microondas o resonancia electromagnética basada en componentes nano optimizados (a largo plazo).		Energía química Aire acondicionado
				Protección contra el calor y la corrosión de las palas de la turbina (por ejemplo, recubrimientos nano cerámicos o intermetálicos) para mejorar la eficiencia de las turbinas en centrales eléctricas.		Transmisión alta tensión: nanorellenos para sistemas de aislamiento eléctrico, nanomateriales magnéticos blandos para la transformación eficiente de corriente.		Hidrógeno: materiales nanoporosos (organometálicos, hidruros metálicos) para su aplicación en micro celdas de combustible para la electrónica móvil o los automóviles (a largo plazo).
								Construcciones ligeras
Combustibles fósiles		Motores de combustión		Transferencia de calor		Energía térmica		Procesos industriales
Desgaste y protección contra la corrosión de los equipos de perforación de petróleo y gas, nanopartículas para la mejora en el rendimiento petrolero.		Protección contra el desgaste y la corrosión de los componentes del motor (nanocomuestos, recubrimientos nanoparticulares como aditivo de combustible).		Calor y flujo de calor eficiente basado en intercambiadores de calor y conductores nano optimizados (por ejemplo, sobre la base de nanotubos de carbono en industrias y edificios).		Materiales de cambio de fase: sistemas PCM encapsulados para la climatización de edificios.		
						Almacenamiento por adsorción: materiales nanoporosos (por ejemplo, zeolitas) para el almacenamiento reversible de calor en edificios y redes de calefacción.		Sustitución de los procesos energéticos intensivos basados en innovaciones de procesos con nanotecnología (por ejemplo, nanocatalizadores, procesos de auto ensamblaje).
Energía nuclear		Motores eléctricos						
Nanocomuestos de blindaje contra la radiación y protección (equipo personal, contenedores) opción a largo plazo para los reactores de fusión nuclear.		Nanocomuestos para componentes superconductores en motores eléctricos (por ejemplo, en barcos).						

Fuente: traducción propia con base en *Hessen Ministry of Economy, Transport, Urban and Regional Development* (2008, p. 4).

Tabla 2. Cuerpos Académicos investigando aplicaciones de nanotecnologías para la energía

INSTITUTO / CENTRO	Fotovoltaica	Celdas de combustible	Almacenamiento / Baterías	Electricidad / Generación / Conducción	Fósil	Hidrógeno	Biocombustibles	Hidráulica	Luminica / Iluminación	Eólica	No Especificada	TOTAL
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	2	1	1								1	5
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional - Unidad Qro.	1	1				1						3
Instituto Tecnológico de Cancún				1								1
Instituto Tecnológico de Oaxaca						1						1
Instituto Tecnológico de Tijuana	1	1										2
Instituto Tecnológico de Toluca	1					1						2
Instituto Tecnológico Superior de Cajeme										1	1	
Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca						1						1
Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca						1						1
Universidad Autónoma de Aguascalientes	1											1
Universidad Autónoma de Coahuila			1									1
Universidad Autónoma de Nuevo León	1	1	1							3	6	
Universidad Autónoma de Querétaro										2	2	
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	1											1
Universidad Autónoma del Carmen										1	1	
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	1									1	2	
Universidad Autónoma del Estado de Morelos				1								1
Universidad de Guadalajara	2		1									3
Universidad de Guanajuato	2											2
Universidad del Istmo							1					1
Universidad Politécnica de Pachuca	1									1	2	
Universidad Politécnica de Tlaxcala	1				1					1		3
Universidad Politécnica del Estado de Guerrero	1	1				1						3
Universidad Politécnica del Valle de Toluca							1					1
Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla							1					1
TOTAL	16	5	5	1	2	5	3	0	0	1	10	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Centros de investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México investigando aplicaciones de nanotecnologías para la energía

INSTITUTO / CENTRO	Fotovoltaica	Celdas de combustible	Almacenamiento/ Baterías	Electricidad / Generación / Conducción	Fósil	Hidrógeno	Biocombustibles	Hidráulica	Luminaria / Iluminación	Eólica	No Especificada	TOTAL
Instituto de Ciencias Físicas				1								1
Instituto de Ciencias Nucleares	1			1								2
Instituto de Energías Renovables	4	1	1	1		1						8
Instituto de Física			1		1						1	3
Instituto de Investigaciones en Materiales	2	1		1								4
Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada	2	3									1	6
Centro de Nanociencias y Nanotecnología		1		2	1	1						5
Instituto de Química									2		2	4
Instituto de Ingeniería									1			1
TOTAL	9	6	2	6	2	2	0	1	2	0	4	

Fuente: elaboración propia.



DOI: 10.22201/enesl.20078064e.2020.22.70362

© ENES Unidad León/UNAM

Tabla 4. Centros de investigación del Instituto Politécnico Nacional investigando aplicaciones de nanotecnologías para la energía

INSTITUTO / CENTRO	Fotovoltaica	Celdas de combustible	Almacenamiento / Baterías	Electricidad / Generación / Conducción	Fósil	Hidrógeno	Biocombustibles	Hidráulica	Luminica / Iluminación	Eólica	No Especificada	TOTAL
Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías	1											1
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada - Unidad Legaria						4						4
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada - Unidad Altamira	4			1								5
Centro de Investigación e Innovación Tecnológica	1									3		4
Centro Mexicano para la Producción más Limpia	1		1		1						1	4
Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas	4	1					1				1	7
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica -Culhuacán	2		1									3
Escuela Superior de Física y Matemáticas	3	2										5
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada	1											1
Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractiva				3								3
TOTAL	17	3	2	4	1	4	1	0	3	0	2	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Departamentos del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados investigando aplicaciones de nanotecnologías para la energía

INSTITUTO / CENTRO	Fotovoltaica	Celdas de combustible	Almacenamiento / Baterías	Electricidad / Generación / Conducción	Fósil	Hidrógeno	Biocombustibles	Hidráulica	Luminica / Iluminación	Eólica	No Especificada	TOTAL
Departamento de Física											3	3
Departamento de Ingeniería Eléctrica (Sección Electrónica del Estado Sólido)				4							2	6
cinvestav Unidad Saltillo		1										1
TOTAL	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	5	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Centros del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología investigando aplicaciones de nanotecnologías para la energía

INSTITUTO / CENTRO	Fotovoltaica	Celdas de combustible	Almacenamiento / Baterías	Electricidad / Generación / Conducción	Fósil	Hidrógeno	Biocombustibles	Hidráulica	Luminica / Iluminación	Eólica	No Especificada	TOTAL
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica	3	3									3	9
Centro de Investigación en Materiales Avanzados - Unidad Monterrey	3	1									1	5
Centro de Investigación en Materiales Avanzados - Unidad Chihuahua	3	1	1		2	1					1	9
Centro de Investigación en Química Aplicada				1								1
Centro de Investigaciones en Óptica AC	4		1			1						6
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica	2		1			1					1	5
Centro de Investigación Científica de Yucatán	1					2	1					4
TOTAL	16	5	3	1	2	5	1	0	0	0	6	

Fuente: elaboración propia.



DOI: 10.22201/enesl.20078064e.2020.22.70362

© ENES Unidad León/UNAM

Tabla 7. Otras Universidades e Instituciones investigando aplicaciones de nanotecnologías para la energía

INSTITUTO / CENTRO	Fotovoltaica	Celdas de combustible	Almacenamiento / Baterías	Electricidad / Generación / Conducción	Fósil	Hidrógeno	Biocombustibles	Hidráulica	Luminica / Iluminación	Eólica	No Especificada	TOTAL
Tecnológico de Monterrey				2								2
Universidad de Sonora				1								1
Instituto Tecnológico Superior Progreso			1									1
Universidad Politécnica de Francisco I. Madero	1											1
Universidad Tecnológica de Tula - Tepeji	1											1
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente AC	1											1
Instituto Tecnológico de Hermosillo			1									1
Universidad de Montemorelos AC											1	1
TOTAL	3	0	2	3	0	0	0	0	0	0	1	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Patentes de nanotecnologías aplicadas a la energía de la WIPO

No.	Título	Fecha de publicación	Nº de solicitud	Solicitante
1	Generador de neutrones de fuente de iones nano emisores	02.12.2016	2016005746	Halliburton Energy Services Inc.
2	Suspensiones líquidas de sólidos de tamaño nano y micrométrico para usarse en operaciones subterráneas	13.10.2016	2016005499	Halliburton Energy Services Inc.
3	Estructura híbrida de grafeno-nanotubos de carbono para baterías de azufre-silicio sin separadores	13.04.2016	2015017285	California Institute of Technology
4	Viscosificador para fluidos de pozos de petróleo	22.01.2016	2015013096	Elkem Aselkem AS
5	Desarrollo de materiales en emulsión con capacidad de absorción de calor tipo PCM y su uso en recubrimientos impermeabilizantes y decorativos	19.06.2015	2013015406	Pinturas Thermicas del Norte S.A. de C.V.
6	Fluidos de tratamiento de pozo y métodos que utilizan nanopartículas	01.05.2015	2014011020	Halliburton Energy Services Inc.
7	Composición para la mejora de la resistividad del suelo usando nanopartículas grafíticas y su proceso de manufactura	19.09.2014	2013003737	Instituto de Investigaciones Eléctricas (ahora INEEL)
8	Membranas de polisilsesquioxano organofílico para nanofiltración con solventes y pervaporación	11.02.2013	2012013360	Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland
9	Material compuesto que comprende nanopartículas y producción de capas fotoactivas que contienen nanopartículas semiconductoras compuestas cuaternarias, pentanarias y de orden superior	12.01.2012	2011012882	Isovoltaic Agisovoltaic AG
10	Calor y energía solares/térmicos combinados para edificios residenciales e industriales	29.07.2011	2011004783	Eaton Corporation
11	Composiciones de cemento y métodos que utilizan cemento nanohidráulico	21.06.2011	MX/a/2011/004542	Halliburton Energy Services Inc.
12	Método y aparato para capturar y secuestrar dióxido de carbono y extracción de energía de masas de tierra grandes durante y después de la extracción de combustibles de hidrocarburo o contaminantes usando energía y fluidos críticos	27.01.2009	MX/a/2008/014313	Raytheon Company
13	Líquidos nano-iónicos y métodos de uso	21.07.2008	MX/a/2007/015544	Michael H. Gurin
14	Celda de energía de microondas, reactor químico y convertidor de energía	22.03.2004	PA/a/2003/007957	Black Light Power Inc.
15	Nanotubos de carbono alineados y autoestables y síntesis de los mismos	09.05.2002	PA/a/2000/012681	The Research Foundation of State University of New York

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Patentes de nanotecnologías del IMP

No.	País	Fecha presentación	Fecha concesión	Fecha de caducidad	Patente Nano (Título)
1	EE.UU.	25/07/02	28/02/06	25/07/22	Material sintético mesoporoso con nanotubos radialmente ensamblados
2	México	18/12/01	31/03/08	18/12/21	Proceso para la obtención de catalizadores de paladio soportados en óxidos mixtos nanocrystalinos de CeO ₂ , ZrO ₂ y CeX Zr 1-XO ₂
3	México	26/04/02	31/03/08	26/04/22	Proceso para la obtención de catalizadores de cerio y litio soportados en óxidos mixtos nanocrystalinos básicos tipo hidrotalcitas
4	EE.UU.	04/05/05	13/11/09	04/05/25	Material de óxido de titanio nanoestructurado y procedimiento para su obtención
5	México	04/05/04	16/03/10	04/05/24	Material de óxido de titanio nanoestructurado y procedimiento para su obtención
6	EE.UU.	23/11/09	21/09/10	04/05/25	Material de óxido de titanio nanoestructurado y procedimiento para su obtención
7	EE.UU.	02/08/10	31/12/13	04/05/25	Material de óxido de titanio nanoestructurado y procedimiento para su obtención
8	México	21/06/12	05/10/15	21/06/32	Síntesis de resinas 100 % base agua dopadas con nanotubos de dióxido de titanio y su aplicación como recubrimiento para superficies metálicas
9	EE.UU.	20/06/13	21/06/16	20/06/33	Síntesis de resinas 100 % base agua dopadas con nanotubos de dióxido de titanio y su aplicación como recubrimiento para superficies metálicas
10	EE.UU.	20/06/13	16/01/17	20/06/33	Titania nanoestructurada TSG-imp para procesos catalíticos
11	México	21/06/12	13/03/17	21/06/32	Material semiconductor de titania nanoestructurada y proceso de obtención
12	EE.UU.	19/05/16	02/06/17	20/06/33	Síntesis de resinas 100 % base agua dopadas con nanotubos de dióxido de titanio y su aplicación como recubrimiento para superficies metálicas
13	EE.UU.	09/12/15	15/08/17	09/12/35	Procedimiento para determinar la morfología, tridimensional y cuantitativa, de las micro y nanocavidades producidas por corrosión química y/o microbiológica en materiales metálicos
14	EE.UU.	20/06/13	13/04/18	20/06/33	Material semiconductor de titania nanoestructurada y proceso de obtención

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Empresas desarrollando productos con nanotecnologías para la energía

EMPRESA	Fotovoltaica	Celdas de combustible	Almacenamiento / Baterías	Eléctrica / Generación / Conducción	Fósil	Hidrógeno	Biocombustibles	Hidráulica	Luminica / Iluminación	Eólica	No Especificada	TOTAL
Prolec GE Internacional S de RL de CV				5								5
Magnekon SA de CV											1	1
RD Research & Technology SA de CV				1								1
Swordfish Energy SA de CV											1	1
3G Herramientas Especiales SA de CV											1	1
Vitro Vidrio y Cristal SA de CV	1										1	2
Proyectos Sustentables de la Península SA de CV			1									1
Tecno Procesos ABERI, SA de CV	1											1
IMR Solutions SA de CV	1											1
TOTAL	3	0	1	6	0	0	0	0	0	0	4	

Fuente: elaboración propia.



DOI: 10.22201/enesl.20078064e.2020.22.70362

© ENES Unidad León/UNAM