



Universidad Autónoma de Zacatecas

Francisco García Salinas

Unidad Académica en Estudios del Desarrollo

Doctorado en Estudios del Desarrollo

FORMACIÓN DE CAPACIDADES NANOTECNOLÓGICAS DEL SECTOR
ENERGÉTICO EN MÉXICO

TESIS PRESENTADA POR Edgar Ramón Arteaga Figueroa **PARA OBTENER EL**
GRADO DE DOCTOR EN ESTUDIOS DEL DESARROLLO

Director: Dr. Edgar Záyago Lau

Co-director: Dr. Guillermo Foladori

Zacatecas, Zac., México, julio de 2020

Apellidos, Nombre

FORMACIÓN DE CAPACIDADES NANOTECNOLÓGICAS DEL
SECTOR ENERGÉTICO EN MÉXICO / por: Arteaga Figueroa Edgar
Ramón. - Zacatecas, Zac., México, 2020.

Director: Dr. Edgar Záyago Lau

Tesis Doctorado en Estudios del Desarrollo. Universidad
Autónoma de Zacatecas, Unidad de Estudios del Desarrollo.

1. (Nanotecnologías). 2. (Energía).

3. (Capacidades tecnológicas). 4. (México).



Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas"

COPIA SIMPLE DEL ACTA DE EXAMEN DE GRADO

**UNIDAD ACADÉMICA DE
DOCTOR EN ESTUDIOS
DEL DESARROLLO**

De: ARTEAGA FIGUEROA EDGAR RAMON.

En la ciudad de Zacatecas, Zac., a quince días del mes de julio del año dos mil veinte, reunidos en Jurado de Examen: DR SEIN LEON SILVA, DRA MONICA ANZALDO MONTOYA, DR. ROBERTO SOTO ESQUIVEL, DR. GUILLERMO RICARDO FOLADORI ABELEDO, DR EDGAR ZAYAGO LAU.

ACTA NO. 67662

Bajo la presidencia de la última persona en citar, en cumplimiento con el Acuerdo de la Rectoría de la Universidad Autónoma de Zacatecas, "Francisco García Salinas", de la fecha catorce del mes de julio del año dos mil veinte, se procedió a practicar EXAMEN DE GRADO DE DOCTOR EN ESTUDIOS DEL DESARROLLO, que de conformidad con el Estatuto General Vigente, presentó:

**ACTA DE EXAMEN DE
GRADO DE DOCTOR EN
ESTUDIOS DEL
DESARROLLO**

ARTEAGA FIGUEROA EDGAR RAMON


Preguntando por todo el tiempo que previene éste, el jurado respectivo tuvo a bien declarar,

APROBARLO POR MENCION HONORIFICA

Lo que hizo saber al sustentante, firmando las personas que formaron parte del jurado:


**DR EDGAR ZAYAGO LAU
PRÉSIDENTE**


**DR. GUILLERMO RICARDO FOLADORI ABELEDO
SECRETARIO**



**DR. ROBERTO SOTO ESQUIVEL
CED. PROF. 6116915
VOCAL**


**DRA MONICA ANZALDO MONTOYA
VOCAL**


**DR SEIN LEON SILVA
VOCAL**

Leída que fue el acta anterior y habiendo sido protestado al sustentante en forma, para el fiel y leal desempeño del grado, cuyo título en esta fecha adquiere, habiendo aceptado las responsabilidades inherentes a ésta, los miembros del jurado acordaron hacer entrega de la documentación respectiva. Así mismo, en esta fecha se entregó copia certificada de la presente acta.




**DR. RUBEN DE JESUS BARRA REYES
SECRETARIO GENERAL DE LA U.A.Z.**

A mi madre

A Jhonatan

A Sarahí

AGRADECIMIENTOS

El trabajo que aquí se presenta culmina la etapa de formación académica del doctorado en Estudios del Desarrollo. Esta tesis es producto del esfuerzo colectivo de distintas personas e instituciones. Aprovecho este espacio para expresarles un sincero agradecimiento:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), por haberme facilitado los medios administrativos, materiales y financieros para llevar a cabo mis estudios doctorales. Particularmente, por la beca recibida durante los 4 años de duración del programa (2016-2020). Este apoyo se ha materializado en diferentes publicaciones, ponencias en congresos nacionales e internacionales, estancias y trabajo de campo que permitieron dar buen término a los objetivos de esta investigación:

Congresos y seminarios

- Los retos de la CTI para la solución de problemas nacionales: compartiendo experiencias en América Latina y el Caribe (8-9 de noviembre 2018. Ciudad de México) - Ponencia: Capacidades nanotecnológicas del sector energético en México.
- XII Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología (18-20 julio 2018. Santiago de Chile) - Ponencia: Panorama del avance de la nanoenergía en México.
- I Jornadas Internacionales de Economía y Sociedad: Aproximaciones interdisciplinarias al Problema del Desarrollo en América Latina (21-25 agosto de 2018. Córdoba, Argentina).
- 3er Coloquio de estudiantes de posgrado Gestión y políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación (25 y 26 de abril de 2018. Zacatecas, México)
- IUPAC Workshop on Safety of Engineered Nanomaterials - CENAM (28-29 de septiembre de 2017. Querétaro, México).
- Participación en el Primer Simposio Latinoamericano de Estudios Métricos de Ciencia y Tecnología (*SLEMCyT*). Universidad Nacional Autónoma de México (30 de agosto, 2019) - Ponencia: Análisis bibliométrico de las publicaciones de nanotecnologías para la energía en México.

Estancias de investigación

- Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Ciudad de México. Bajo la tutoría de Carlos Lira Galeana, del 26 al 29 de septiembre de 2018.

Publicaciones

- Foladori, G., Robles-Belmont, E., Arteaga Figueroa, E., Appelbaum, R., Záyago, E., & Parker, R. (2016). Sectores económicos de potencial aplicación de las patentes de nanotecnologías en México. *Ciencia Ergo sum*, 23(3), 255–260.
- Appelbaum, R., Záyago Lau, E., Foladori, G., Parker, R., Villa, L., Robles-Belmont, E., & Arteaga Figueroa, E. (2016). Inventory of nanotechnology companies in Mexico. *Journal of Nanoparticle Research*, 18(43), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11051-016-3344-y>
- Foladori, G., Arteaga Figueroa, E., Robles-Belmont, E., Záyago Lau, E., & Appelbaum, R. (2016). Cadena de valor de las nanotecnologías en México. *Revista Digital universitaria*, 17(4), 1–8.
- Invernizzi, N., Foladori, G., Robles-Belmont, E., Záyago-Lau, E., Arteaga Figueroa, E., Bagattolli, C., Carrozza, T., Chiancone, A., & 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), 01–30.
- Foladori, G., Belmont, E. R., Arteaga Figueroa, E. R., Appelbaum, R., & Záyago Lau, E. (2018). Patents and Nanotechnology Innovation in Mexico. *Recent Patents on Nanotechnology*, 12(3), 243–256. <https://doi.org/10.2174/1872210512666180803095459>

Además, la participación en el proyecto de investigación: A1S9013 del fondo Ciencia Básica–Conacyt. De esta colaboración resaltamos dos productos. El artículo: “Nanotecnologías para la energía en México: revisión de publicaciones científicas, patentes y empresas”, publicado en la revista *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) León, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).¹ El otro producto: “Nanotecnologías aplicadas al sector energético en México. Revisión del financiamiento público otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología”,² es un apartado del libro *Relevancia social de las nanotecnologías en América Latina*. Estas publicaciones sintetizan la información presentada en el capítulo 3 de la tesis.

¹ Arteaga Figueroa, E. R., Záyago Lau, E., & Foladori, G. (2020). Nanotecnologías para la energía en México: Revisión de publicaciones científicas, patentes y empresas. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 8(22). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.70362>

² Arteaga Figueroa, Záyago y Foladori (2019). *Nanotecnologías aplicadas al sector energético en México. Revisión del financiamiento público otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*. En: *Relevancia social de las nanotecnologías en América Latina*. En prensa.

Llegar a estos resultados habría sido imposible sin el apoyo de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), que me otorgó educación pública y gratuita desde la licenciatura en economía, hace más de 14 años. El doctorado culmina nuestra relación en las aulas, pero reafirma el compromiso social de defenderla como un espacio de reflexión para las futuras generaciones de zacatecanas y zacatecanos.

El agradecimiento se extiende a la Unidad Académica en Estudios del Desarrollo (UAED), donde se fomenta el pensamiento crítico y el análisis global. Desde hace más de una década, esta Unidad me recibió como becario y asistente de investigación. Ahora, como estudiante de su V generación, me ha proporcionado herramientas valiosas para mejorar el ejercicio profesional.

De forma especial y sincera, a los miembros del comité de tesis: Dr. Edgar Záyago Lau, Dr. Guillermo Foladori, Dr. Roberto Soto Esquivel, Dra. Mónica Anzaldo Montoya, Dr. Sein León Silva, por dedicarme su tiempo, ideas, comentarios, revisiones, sugerencias y propuestas durante la realización de este trabajo. Reciban mi admiración y respeto como académicos, pero también un profundo agradecimiento por su apoyo personal cuando han sido compañeros de trabajo y amigos.

Al Dr. Raúl Delgado Wise, que mantuvo la puerta siempre abierta al diálogo entre la comunidad, como director de la UAED y presidente del Consejo Académico de Unidad, del cual me honra haber sido representante estudiantil por dos periodos consecutivos. El trabajo realizado nos vincula gratamente con el objetivo de defender la universidad pública.

Fuera de la academia se encuentra un apoyo fundamental, en el hogar y otros espacios de convivencia social. Sin la constante motivación de familiares y amistades habría sido difícil mantener el mismo empeño en este proyecto. Gracias a Jhonatan y Sarahí, por su paciencia. Madre y padre, por las invaluable enseñanzas que sigo recibiendo. A Araceli, por todo el apoyo, lectura, crítica y aliento. Amigos que han estado y que permanecen, ha sido un gusto convivir dentro y fuera de las aulas. Espero que todas sus contribuciones hayan quedado plasmadas fielmente en este trabajo.

Finalmente, aclaro que la responsabilidad por los errores u omisiones en la redacción y edición de este documento es únicamente mía.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
Problema y preguntas de investigación	6
Preguntas de investigación	9
Hipótesis	10
Objetivos.....	11
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	13
1.1 Institucionalización del desarrollo capitalista.....	13
1.2 El papel de la ciencia y la tecnología en el desarrollo	19
1.2.1 Teoría neoclásica del cambio tecnológico.....	21
1.2.2 Teorías endógenas del cambio tecnológico	23
1.2.3 Teorías neoschumpeterianas/evolucionistas del cambio tecnológico	25
1.3 Nociones de ciencia y Tecnología	28
1.4 Invención e innovación.....	30
1.5 Conocimiento y capital humano	31
1.6 Aprendizaje tecnológico	32
1.7 Capacidades tecnológicas	33
1.8 Modelos de cooperación Universidad-Industria-Gobierno para la innovación	34
1.8.1 Triángulo de Sábato.....	35
1.8.2 Sistema Nacional de Innovación	36
1.8.3 Triple Hélice	38
1.9 Crítica a las teorías dominantes sobre Ciencia y Tecnología	42
1.10. Estrategia metodológica	44
1.11 Alcances y limitaciones de la investigación	51
Conclusiones.....	53
CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN EL SECTOR ENERGÉTICO	55
2.1 Nanotecnologías como nueva revolución tecnológica	55
2.2 Energía y nanotecnologías.....	58
2.3 Aplicaciones nanotecnológicas por tipo de energía	66
2.4 Empresas, productos y propiedad intelectual	68
2.4.1 Petróleo	68
2.4.2 Electricidad.....	73
2.4.3 Energía solar	75
2.4.4 Almacenamiento	76
2.4.5 Hidrógeno	79
2.4.6 Combustible.....	80
2.4.7 Biocombustibles	81
2.4.8 Energía eólica	82
Conclusiones.....	83

CAPÍTULO 3. POLÍTICAS DE ENERGÍA, CIENCIA Y NANOTECNOLOGÍAS EN MÉXICO	84
3.1 Energía y desarrollo en México	86
3.2 Política energética en México.....	90
3.3 Estrategias de aprovechamiento de fuentes de energía renovables en México	106
3.3.1 Normatividad y marco regulatorio	108
3.4 Política de ciencia, tecnología e innovación en México.....	109
3.5 Nanotecnologías en el sector energético mexicano.....	122
3.6 Financiamiento para nanotecnologías aplicadas a la energía en México	126
Conclusiones.....	133
CAPÍTULO 4. CAPACIDADES NANOTECNOLÓGICAS DEL SECTOR ENERGÉTICO EN MÉXICO	135
4.1 Publicaciones de nanotecnologías para la energía en México.....	135
4.2 Proyectos de investigación de Cuerpos Académicos	137
4.3 Proyectos de investigación de Universidades y centros públicos (instituciones que no forman parte del Prodep)	141
4.4 Proyectos de investigación de centros Conacyt.....	149
4.5 Empresas desarrollando productos nanohabilitados para energía	151
4.6 Patentes y protección intelectual de nanotecnologías para la energía	153
Conclusiones.....	158
CONCLUSIONES GENERALES	160
ANEXOS.....	166
ANEXO CAPÍTULO 1	166
ANEXO CAPÍTULO 3	170
ANEXO CAPÍTULO 4	176
LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	196
REFERENCIAS	200

ÍNDICE DE CUADROS

INTRODUCCIÓN

Cuadro i .-	2
-------------	---

CAPÍTULO 1

Cuadro 1.1.- Corrientes teóricas heterodoxas que estudian el desarrollo económico	27
Cuadro 1.2.- Diferencias entre ciencia básica y ciencia aplicada.....	29
Cuadro 1.3.- Alcance de las fuentes de la investigación	51

CAPÍTULO 2

Cuadro 2.1.- Aplicaciones de las nanotecnologías en industrias seleccionadas.....	56
Cuadro 2.2 .- Nanomateriales, artículos y patentes por tipo de energía a nivel mundial (1980-2018)	67
Cuadro 2.3 .- Patentes de nanotecnologías aplicadas al petróleo – industria de la refinación 1980-2018 (primeros 10 lugares)	69
Cuadro 2.4 .- Productos nanohabilitados para la industria petrolera por país	70
Cuadro 2.5 .- Patentes de nanotecnologías aplicadas a la electricidad 1980-2018 (primeros 10 lugares).....	73
Cuadro 2.6 .- Productos nanohabilitados para la energía eléctrica.....	74
Cuadro 2.7 .- Patentes de nanotecnologías aplicadas a la energía solar 1980-2018 (primeros 10 lugares).....	75
Cuadro 2.8 .- Patentes de nanotecnologías aplicadas al almacenamiento de energía 1980-2018 (primeros 10 lugares)	77
Cuadro 2.9 .- Patentes de nanotecnologías aplicadas al almacenamiento de energía (exclusivamente baterías) 1980-2018 (primeros 10 lugares)	78
Cuadro 2.10 .- Patentes de nanotecnologías aplicadas al hidrógeno 1980-2018 (primeros 10 lugares)	79
Cuadro 2.11 .- Patentes de nanotecnologías aplicadas al hidrógeno 1980-2018 (primeros 10 lugares)	80
Cuadro 2.12 .- Patentes de nanotecnologías aplicadas a los biocombustibles 1980-2018 (primeros 10 lugares).....	81
Cuadro 2.13 .- Patentes de nanotecnologías aplicadas a la energía eólica 2010-2019 (primeros 10 lugares).....	82

CAPÍTULO 3

Cuadro 3.1 .- Procesos de licitación para la adjudicación de contratos para la exploración y extracción de hidrocarburos por empresas particulares en México.....	99
Cuadro 3.2 .- Porcentaje de las ventas de Pemex como presupuesto del IMP 2006-2018	100
Cuadro 3.3 .- Empresas privadas con participación en generación y venta de energía eléctrica en México.....	103
Cuadro 3.4 .- Capacidad autorizada en proyectos de energías renovables por entidad (MW) 2015	107

Cuadro 3.5 .- Nanotecnologías en los planes de CyT de México.....	123
Cuadro 3.6 .- Financiamiento del Conacyt para nanotecnologías aplicadas a la energía en México por entidad federativa 2004- 2018 (millones de pesos)	129

CAPÍTULO 4

Cuadro 4.1 .- Cuerpos Académicos investigando aplicaciones de nanotecnologías para la energía	139
Cuadro 4.2 .- Centros de investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México investigando aplicaciones de nanotecnologías para la energía.....	142
Cuadro 4.3 .- Centros de investigación del Instituto Politécnico Nacional investigando aplicaciones de nanotecnologías para la energía	145
Cuadro 4.4 .- Departamentos del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados investigando aplicaciones de nanotecnologías para la energía.....	146
Cuadro 4.5 .- Otras Universidades e Instituciones investigando aplicaciones de nanotecnologías para la energía.....	148
Cuadro 4.6 .- Centros del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología investigando aplicaciones de nanotecnologías para la energía	150
Cuadro 4.7 .- Empresas desarrollando productos con nanotecnologías para la energía.	152
Cuadro 4.8 .- Patentes de nanotecnologías aplicadas a la energía de la WIPO	153
Cuadro 4.9 .- Patentes de nanotecnologías para la energía registradas y concedidas en el IMPI.....	155
Cuadro 4.10 .- Patentes de nanotecnologías aplicadas a la energía del IMP.....	157

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 2

Gráfico 2.1 .- Consumo mundial de energía primaria [terawatts-hora (TWh) por año]... 60	60
Gráfico 2.2 .- Producción mundial de petróleo 1900-2015 (mdbp diarios)	61
Gráfico 2.3.- Tendencia mundial de inversión en energías renovables 2004-2018 (miles de millones de dólares)	63
Gráfico 2.4.- Tendencia mundial de inversión en energías renovables 2004-2018 por regiones (miles de millones de dólares)	64
Gráfico 2.5.- Generación de electricidad a partir de fuentes renovables a nivel mundial 1990-2016 (TWh)	65

CAPÍTULO 3

Gráfico 3.1.- México: gasto en I+D como porcentaje del PIB 1996-2016.....	85
Gráfico 3.2.- Producción de petróleo México 1900-2017 (millones de barriles diarios). 87	87
Gráfico 3.3.- Porcentaje de consumo de energía fósil en México (1970-2015).....	88

CAPÍTULO 4

Gráfico 4.1.- Distribución porcentual de las publicaciones sobre aplicaciones de nanotecnologías a la energía en México	135
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 .- Triángulo de Sábato de inter-relaciones entre el gobierno, la estructura productiva y la infraestructura científico-tecnológica	36
Figura 1.2 .- Modelo estático de relaciones Universidad-Industria-Gobierno	39
Figura 1.3.- Modelo laissez faire de relaciones Universidad-Industria-Gobierno	40
Figura 1.4.- Modelo Triple Hélice de relaciones Universidad-Industria-Gobierno	40
Figura 1.5.- Aplicaciones de nanotecnologías en la cadena de suministro energético	45

CAPÍTULO 3

Figura 3.1.- Principales instituciones que influyen en la política energética de México	96
Figura 3.2.- Modificaciones constitucionales en materia de hidrocarburos	97
Figura 3.3.- Modificaciones constitucionales en materia de electricidad.....	102
Figura 3.4.- Áreas de transformación a partir de la Reforma	104
Figura 3.5.- Principales agentes y vinculaciones del sistema de innovación mexicano.	119
Figura 3.6.- Principales instituciones del SNI mexicano.....	120

RESUMEN

Las nanotecnologías son la base de una nueva revolución tecnológica que está modificando todas las estructuras productivas. Abarcan el entendimiento y control de la materia a una escala aproximada de entre 1 y 100 nanómetros. Se les conoce como tecnologías de propósito general, ya que alteran de forma radical las plataformas científicas y las actividades industriales, permitiendo aplicaciones generalizadas en todos los sectores.

El objetivo general de esta investigación es analizar la formación de capacidades nanotecnológicas del sector energético en México. Considerando que estas capacidades abarcan el proceso de generación, asimilación, uso, adaptación y cambio de las nanotecnologías en la cadena de suministro de energía. Se realizó una búsqueda de las publicaciones, proyectos de investigación, patentes y productos nanohabilitados para la energía en México en centros públicos y universidades, patentes de la WIPO y el IMPI, así como empresas con sede en el país.

Sin contar con una agenda pública específica, México ha promovido esquemas de participación pública y privada para el desarrollo de nanotecnologías. Con la finalidad de identificar la inversión física, capital humano y esfuerzo tecnológico que se realiza al respecto, se recopiló y sistematizó información de los agentes (universidades y centros de investigación, gobierno, empresas) que desarrollan, patentan y producen aplicaciones de nanotecnologías para la energía en el país.

Los hallazgos de este trabajo demuestran una desarticulación entre lo que se investiga, patenta y produce en la materia, respecto de los tipos de energía que se financian y los productos que se tienen en el mercado. 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. Las nanotecnologías para el sector energético que se realizan en México son en gran parte financiadas por recursos públicos, pero sus productos finales son apropiados por empresas particulares.

Palabras clave: nanotecnologías, energía, capacidades tecnológicas, Ciencia y Tecnología, México

ABSTRACT

Nanotechnologies are the basis of a new technological revolution that modifies all production structures. They cover the understanding and control of matter on a scale of approximately 1 to 100 nanometers. They are known as general-purpose technologies, as they radically alter scientific platforms and industrial activities, allowing widespread applications in all sectors.

The general objective of this thesis is to analyze the formation of nanotechnological capacities in the energy sector in Mexico. Latter encompass the process of generation, assimilation, use, adaptation and change of nanotechnologies in the energy supply chain. A search was made of publications, research projects, patents and nano-enabled products for energy in Mexico in public centers and universities, WIPO and IMPI patents, as well as companies based in the country.

In the absence of a specific public agenda, Mexico has promoted public and private participation schemes for the development of nanotechnologies. In order to identify the physical investment, human capital and technological effort made in this regard, information was collected and systematized from the agents (universities and research centers, government, companies) that develop, patent and produce nanotechnology applications for the energy in the country.

The findings of this work demonstrate a disarticulation between what is investigated, patented and produced in the matter, regarding the types of energy that are financed and the products that are on the market. Universities and research centers study mostly photovoltaic technologies, companies produce technologies for electrical energy, and most patent registrations are for fossil energy. Nanotechnologies for the energy sector carried out in Mexico are largely financed by public resources, but their final products are appropriated by private companies.

Keywords: nanotechnology, energy, technological capabilities, Science and Technology, México

INTRODUCCIÓN

Las nanociencias y las nanotecnologías abarcan el entendimiento y control de la materia a una escala aproximada de entre 1 y 100 nanómetros (NNI, s/f; Royal Society, 2004; OECD, 2009; Ramsden, 2011, 2016). Un nanómetro (nm) es la milmillonésima parte de un metro. En perspectiva, una hoja de papel tiene alrededor de 100,000 nm de grosor, un cabello humano 80,000 nm, un glóbulo rojo ronda los 7,000 nm de ancho (Royal Society, 2004), una cadena de ADN puede medir 2.5 nm de diámetro y las uñas de los dedos crecen un nm por segundo (NNI, s/f). Las nanociencias se enfocan en el estudio de fenómenos de la materia a escala atómica y molecular, mientras que las nanotecnologías comprenden el diseño, caracterización y producción de estructuras, dispositivos y sistemas de tamaño nanométrico (Royal Society, 2004). El cuadro i muestra el consenso que existe entre las definiciones más importantes respecto a la nanoescala.

A esta magnitud, las propiedades de los materiales (conductividad eléctrica, dureza, magnetismo, óptica, reactividad química) cambian significativamente, brindándoles posibilidades novedosas de aplicación en diversas áreas: Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC`s), medicina, transporte, energía, alimentación, medio ambiente, entre otros. Por ello, se les conoce como tecnologías de propósito general o habilitadoras (*general purpose / enabling technology*). Es decir, tienen aplicaciones generalizadas en todos los sectores, afectando de forma radical las plataformas científicas y las actividades industriales (Roco et al., 2010). Por lo tanto, es válido decir que nos encontramos frente a una nueva revolución tecnológica que está modificando todas las estructuras productivas.

En los últimos 20 años, varios países han incrementado significativamente el presupuesto para Investigación y Desarrollo (I+D) de nanotecnologías desde los sectores público y privado (NNI, 2018). Algunos de manera directa y otros transversalmente, mediante planes nacionales o políticas públicas específicas. El primero fue Estados Unidos, que lanzó la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI), en 2000. Posteriormente, Japón, Corea del Sur, la Comunidad Europea, Alemania, China y Taiwán también lanzaron iniciativas. Más de 60 países establecieron programas de I+D en nanotecnologías entre 2001 y 2004 (Roco et al., 2010). La inversión mundial hecha por organizaciones gubernamentales se incrementó casi 20 veces de 1997 a 2004; de 432 millones de dólares (mdd) a 8,600 mdd,

de los cuales poco más de la mitad (4,600 mdd) provinieron directamente de agencias del gobierno central (Jia, 2005). Respecto a la iniciativa privada, el Grupo ETC estimó que, en 2010, había más de 2,000 empresas en el mundo investigando y/o manufacturando nanopartículas; con aproximadamente 35,000 investigadores tan sólo en el sector químico. Además, 63,000 trabajadores en Alemania y otros dos millones en Estados Unidos (ETC Group, 2010). Se espera un mercado mundial de nanotecnologías que alcance inversiones de 125,000 mdd en 2024 (Wennersten, Fidler & Spitsyna, 2008; PR Newswire, 2018).

Cuadro i
Definiciones de nanotecnologías en iniciativas y planes de países desarrollados

País/iniciativa o plan	Definición
Estados Unidos: National Nanotechnology Initiative (2001-)	La nanotecnología es la comprensión y el control de la materia en dimensiones de aproximadamente 1 a 100 nanómetros, donde fenómenos únicos permiten aplicaciones novedosas. Al abarcar la ciencia, la ingeniería y la tecnología a nanoescala, la nanotecnología implica imágenes, mediciones, modelado y manipulación de la materia a esta escala.
Unión Europea: Seventh Framework Programme (2007-2013)	Generar nuevos conocimientos sobre la interfaz y los fenómenos dependientes del tamaño; control a nanoescala de las propiedades del material para nuevas aplicaciones; integración de tecnologías a nanoescala; propiedades de autoensamblaje; nanomotores; máquinas y sistemas; métodos y herramientas para caracterización y manipulación en nano dimensiones; tecnologías de nano precisión en química para la fabricación de materiales y componentes básicos; impacto en la seguridad humana, la salud y el medio ambiente; metrología, monitoreo y detección, nomenclatura y estándares; exploración de nuevos conceptos y enfoques para aplicaciones sectoriales, incluida la integración y convergencia de tecnologías emergentes.
ISO TC229	Comprensión y control de la materia y los procesos a nanoescala, típica, pero no exclusivamente, por debajo de 100 nanómetros en una o más dimensiones, donde la aparición de fenómenos dependientes del tamaño generalmente permite nuevas aplicaciones. Utilizando las propiedades de los materiales a nanoescala que difieren de las propiedades de los átomos individuales, las moléculas y la materia en masa, para crear materiales, dispositivos y sistemas mejorados que exploten estas nuevas propiedades.
Japón: Segundo Plan Básico de Ciencia y Tecnología (2001-2005)	La nanotecnología es una ciencia y tecnología interdisciplinaria que abarca las TICs, ciencias ambientales, ciencias de la vida, ciencia de los materiales, etc. Es para controlar y manejar átomos y moléculas en el orden de nanómetros (1/1,000,000,000) que permiten descubrir nuevas funciones, aprovechando sus características de material únicas en el tamaño nano, para que pueda aportar innovación tecnológica en varios campos.
Reino Unido: New Dimensions for Manufacturing: A UK Strategy for Nanotechnology	La nanotecnología y la nanociencia se ocupan de la ciencia de los materiales y su aplicación a escala nanométrica, o alrededor de esta, (milmillonésima parte de un metro). La fabricación puede alcanzar la nanoescala ya sea de arriba hacia abajo (<i>top-down</i>), 'mecanizando' a dimensiones cada vez más pequeñas, o de abajo hacia arriba (<i>bottom-up</i>), explotando la capacidad de las moléculas y los sistemas biológicos para 'autoensamblar' pequeñas estructuras. Es en la conjunción de estos dos enfoques, en la reunión de fabricación física y química / biológica, donde reside el potencial de revolución.

Fuente: OECD, 2009 (traducción propia)

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 ola nanotecnológica. La implementación de asociaciones público-privadas, los llamados *spin-off*, han sido una estrategia común para la I+D en la materia, debido a que el estudio de partículas a nanoescala requiere equipos costosos (fabricados en países desarrollados) y que demandan alta especialización técnica para operar los instrumentos e interpretar los datos adquiridos. Estos obstáculos limitan el número de instituciones capaces de apoyar la investigación de nanotecnologías. Sin embargo, bajo la estrategia de brindar acceso a usuarios externos, se argumenta que la infraestructura creada puede beneficiar a la comunidad científica en general (Pruitt et al., 2018). Esto ha derivado en un impulso a la formación de recursos humanos a través de asociaciones entre la industria, academia, Organismos No Gubernamentales (ONG), agencias y organizaciones internacionales, con la finalidad de crear centros académicos regionales para I+D, manufactura de nanotecnologías y educación nanotecnológica básica (Roco et al., 2010).

Históricamente, los países han financiado la I+D donde existe el potencial de que una tecnología tenga impacto en la economía nacional. Hoy en día, la colaboración entre investigadores financiados por el gobierno y la industria privada se concibe como un elemento fundamental para la transferencia y la comercialización de nanotecnologías. Sin embargo, para que esto se materialice, es necesaria la implementación de una política que determine áreas específicas para cubrir objetivos de desarrollo concretos (p.ej., el caso de las iniciativas nacionales). Cuando se habla de una nueva tecnología, surge la creencia de que esta servirá para producir más y mejores objetos que lograrán satisfacer necesidades sociales (acceso a medicamentos, remediación y purificación de agua, energía barata y accesible). Sin embargo, aunque pueda suponerse una correlación positiva entre tecnología y desarrollo, la relación entre estos no siempre es directa. En el capitalismo, la producción es de mercancías y las empresas requieren que estas se vendan en el mercado con el incentivo de obtener ganancia, no de satisfacer necesidades.

Otra cuestión relevante es que la tecnología y sus productos deben estar en el mercado para llegar a los usuarios. La distancia entre el productor y el consumidor está mediada por la capacidad de compra, por lo que el ingreso es un factor que puede limitar el acceso universal a las innovaciones. A manera de ejemplo, en el 2005, el *Woodrow Wilson Center*

(WWC) y el *Project on Emerging Nanotechnologies* (PEN) crearon el *Nanotechnology Consumer Products Inventory* (CPI), un inventario mundial de productos nanohabilitados, que en su última actualización (octubre de 2013) registró 1,814 artículos de consumo de 622 empresas en 32 países (Vance et al., 2015). Las áreas de salud y bienestar físico concentraron la mayoría de registros (762, o 42 por ciento del total). Sin embargo, 71 por ciento de los productos (1288) no presentaban suficiente información de respaldo para corroborar la afirmación de que contienen nanomateriales (Vance et al., 2015) y la mayoría de los artículos son considerados bienes suntuarios (prendas de vestir, cosméticos, artículos deportivos, bloqueadores solares y suplementos alimenticios) que no satisfacen necesidades básicas y son adquiridos mayoritariamente por grupos sociales de ingreso medio/alto.

Por lo tanto, al centro del análisis debe tenerse en cuenta que la capacidad de asimilación, adopción y uso de una nueva tecnología requiere una serie de condiciones económicas, políticas y sociales específicas. La motivación individual de las empresas no necesariamente considera la atención de objetivos colectivos. Existen áreas estratégicas en las que el Estado debe pronunciarse respecto al financiamiento y destino de la I+D (sobre todo si se realiza con recursos públicos). Agua, salud, medio ambiente, seguridad nacional, soberanía alimenticia y energía son algunos ámbitos determinantes de la calidad de vida de la población, donde la planeación socioeconómica de largo plazo puede conducir al desarrollo. Por lo tanto, de no existir una política pública amplia que conduzca la I+D hacia necesidades sociales y/o aspectos claves en la acumulación de capital, junto con una política industrial que integre la actividad productiva con estos objetivos, los esfuerzos científicos y tecnológicos son propensos a no materializarse.

Esta investigación plantea como objetivo analizar la formación de capacidades nanotecnológicas del sector energético en México. De acuerdo con Kim (2000), y aplicado a este caso, se trata del proceso de asimilación, uso, adaptación y cambio de las nanotecnologías en la cadena de suministro de energía. El estudio se complementa con los aportes de Lall, donde las capacidades se pueden agrupar en tres grandes apartados: inversión física, capital humano y esfuerzo tecnológico (Lall, 1992). Con la finalidad de identificar estos elementos, se recopiló, sistematizó y analizó información de los agentes (gobierno, empresas, centros de investigación y universidades) que desarrollan, patentan y producen aplicaciones de nanotecnologías para la energía en el país. Para ello hemos dividido la tesis

en cuatro capítulos.

El primer capítulo presenta los elementos teórico-conceptuales que permitirán enmarcar la investigación. Se construye desde los conceptos básicos de ciencia, tecnología e innovación hasta llegar al papel del conocimiento, el aprendizaje y la formación de capacidades tecnológicas. Se revisan los principales modelos de innovación y los agentes que los componen.

El segundo capítulo contiene un panorama global de las nanotecnologías en la industria energética internacional. Se dan a conocer las principales compañías y centros de investigación que poseen productos y obtienen patentes sobre el tema, así como los tipos de energía que mayor atención reciben.

El tercer capítulo encuadra el contexto en el que se forman y acumulan las capacidades nanotecnológicas para la energía en México. Siguiendo la tendencia internacional, se ha buscado fomentar la productividad y la competitividad a través del desarrollo tecnológico, y el sector energético está incluido en esta dinámica. Desde 2002 las nanotecnologías fueron consideradas como prioritarias en los programas oficiales y se destinaron recursos a su I+D, específicamente en el petróleo.

El cuarto capítulo presenta los resultados de la investigación. Se da cuenta de las publicaciones, proyectos de I+D, patentes y productos de nanotecnologías relacionados con la energía en México. Se demuestra que el desarrollo de estas tecnologías, a nivel nacional, se encuentra en una etapa temprana. Además, la ausencia de una estrategia pública, en conjunto con el esquema de política científica prevaleciente, ha permitido que actividades de I+D del sector privado sean financiadas con recursos públicos, alejando a las nanotecnologías de ayudar a resolver problemas sociales. En el caso de la energía, esta tendencia se visualiza cuando la mayor cantidad de universidades y centros de investigación dedican esfuerzos a la tecnología solar/fotovoltaica; mientras que las empresas desarrollan productos para el almacenamiento, y la propiedad intelectual está concentrada en el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), en combustibles fósiles.

Finalmente, se presentan las conclusiones generales, los anexos y la bibliografía consultada.

Problema de investigación

Todo en el universo puede describirse en términos de energía. Las galaxias, estrellas, moléculas y átomos, como aglomeraciones energéticas; los organismos vivos, como motores que operan por medio del sol; las civilizaciones, o culturas de la humanidad, como formas de organización de la energía (White, 1943). Aunque permanece todavía como un concepto abstracto sin una definición universal concreta, se define convencionalmente como la capacidad para realizar un trabajo y, como tal, se manifiesta de diferentes formas, lo que ayuda a abordarla desde diferentes disciplinas. En la literatura física se hace referencia a términos como energía cinética, potencial, rotacional, traslacional, etc., y se le asocia directamente al principio de conservación.³ En la química, se le estudia como fenómenos que se producen a través de reacciones entre las moléculas de uno o más compuestos. La biología se centra en el análisis del trifosfato de adenosina (ATP)⁴ y el estudio de fenómenos como la fotosíntesis.

Todos los seres vivos dependen de la energía. Sin embargo, históricamente, el ser humano ha desarrollado formas de vida donde, además de asegurar la necesaria para su subsistencia biológica (alimento), requiere de un excedente adicional para mantener y desarrollar su organización social (cultura, economía) a través de la producción material. Para lograrlo, en cada etapa de su desarrollo ha aprovechado y explotado distintas fuentes.⁵ Desde la fuerza muscular hasta el uso masivo y generalizado de combustibles fósiles, ha debido “domesticarla”, convertirla en capacidad de trabajo o potencia útil, para colocarla en el lugar adecuado en el momento requerido (Gasman, 2006), transformándola en una fuerza productiva (Debeir et al., 1991). En esta investigación se abordará la energía como un elemento indispensable para la reproducción material de la sociedad:

La energía es el tipo de abstracción "transhistórica" que se aplica a todas las sociedades humanas en todos los niveles de interacción con el medio ambiente natural. La relación social con las formas de energía (músculos, viento, agua y máquinas que funcionan con

³ El principio de conservación establece que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. Es decir, puede pasar de una forma a otra, pero la cantidad total siempre permanece constante.

⁴ El trifosfato de adenosina (ATP), es una molécula que se encuentra en todos los seres vivos y constituye la fuente principal de energía utilizable por las células para realizar sus actividades.

⁵ Desde el punto de vista de la tecnología, no importa si la energía proviene de un hombre libre, un esclavo, un buey, la corriente que fluye o una pila de carbón. Lo que hace una gran diferencia para los seres humanos es de dónde proviene la energía (White, 1943, p. 345).

combustible) es siempre un factor central que moldea las formas en que las personas producen medios de vida, atraviesan el espacio y forman relaciones de intercambio (Huber, 2008, p. 106).

Las grandes revoluciones tecnológicas, que afectaron las actividades de producción y consumo, han estado estrechamente ligadas a la sustitución entre las fuentes energéticas. Antes de la Revolución Industrial, Cipolla (1978) estimó que un 80-85 por ciento de toda la energía mecánica de la humanidad provenía de la fuerza muscular; el restante provenía del viento y el agua (Cipolla, 1978). Posteriormente, en el proceso de transformación de la herramienta del artesano en máquina, se crearon las condiciones para transitar de la manufactura a la industria. La energía requerida en la producción dejó de centrarse en el componente biológico y se traspasó a los artefactos mecánicos. Este cambio de los sistemas productivos propició una división del trabajo más compleja y la necesidad de encontrar fuentes energéticas que permitieran la fabricación masiva de mercancías. A partir de ese momento, el capitalismo fue empujado hacia el avance constante y requirió de un incremento de energía persistente y duradero (Keefer, 2010).

Huber (2008) sostiene que la sustitución de recursos biológicos por carbón y petróleo, a finales del siglo XVIII / principios del XIX, coincidió con el dramático proceso de cambio hacia la generalización de las relaciones sociales capitalistas (Huber, 2008). En esta etapa, los combustibles fósiles ofrecieron mayores ventajas para la acumulación respecto a otras fuentes. La disponibilidad local de recursos energéticos dejó de ser factor en la ubicación geográfica de las industrias. Además, a diferencia de la energía solar (intermitente entre el día y la noche), el petróleo se puede utilizar las 24 horas con intensidad constante, lo que permite superar los ritmos biológicos y sociales, flexibilizando la organización del trabajo. Otra ventaja que ofrece es la capacidad de emplearse en la producción, el transporte y el consumo, abordando todas las cadenas de valor del proceso productivo. Actualmente, en el centro del análisis de la relación del capitalismo con la naturaleza está su dependencia inherente e inevitable de los hidrocarburos, y particularmente del petróleo (Altvater, s/f).

Sin embargo, después de un siglo de explotación de un recurso no renovable, hemos alcanzado un punto donde se vuelve cada vez más complicado extraer hidrocarburos que ofrezcan la misma calidad y rendimiento que los de hace unas décadas. Esto ha abierto el cuestionamiento de si el petróleo puede seguir explotándose al mismo ritmo para satisfacer la demanda energética mundial. En este contexto, se ha desarrollado una amplia variedad de

técnicas de extracción y refinación, que han permitido la obtención de combustibles a partir de petróleo no convencional. Con ello se ha mantenido la producción en niveles relativamente constantes durante la última década; sin embargo, cada vez resulta más complicado sostener esta tendencia. Para continuar con el proceso de acumulación, el capitalismo requiere encontrar complementos y alternativas que permitan lograr la eficiencia de los hidrocarburos. Estas opciones se sustentan, principalmente, en fuentes de energía renovable.

Actualmente, la implementación de nuevas tecnologías ha mejorado la captación, distribución y uso de energías renovables, a tal grado que la radiación solar ya se ha convertido en la forma más barata de producir electricidad. Sin la ayuda de subsidios, está comenzando a competir con el carbón y el gas natural a gran escala y, notablemente, nuevos proyectos solares en mercados emergentes están costando menos que construir infraestructura eléctrica convencional (Bloomberg, 2016). En 2017, los combustibles fósiles presentaron costos nivelados de generación de entre 50 y 170 dólares por megawatt hora (MWh) en los países del G20, mientras que los proyectos en energías renovables se situaron entre los 30 y 60 dólares (García, 2018).

Sin embargo, transitar a estas fuentes es un proceso complejo que implica contar con tecnologías apropiadas, pero también con instituciones sociales adecuadas. Diseñar y adoptar un nuevo sistema de generación, transmisión y distribución requiere tomar en cuenta las múltiples dimensiones del desarrollo de cada país. Sobre todo, considerando que existen regiones donde el acceso a la energía básica es limitado. En 2019 todavía 840 millones de personas en el mundo no tienen acceso a electricidad y unos 3,000 millones utilizan leña, carbón o algún sistema primario de cocción de alimentos y calefacción (Naciones Unidas, s/f). Esto cuestiona directamente el acceso universal de las energías renovables. Por lo tanto, se debe colocar en el centro de la discusión el reconocimiento de asimetrías en los aspectos económico, político, social y cultural que enmarcan el grado de desarrollo de los países, considerando el papel que se le da a la energía como un elemento indispensable en la mejora de la calidad de vida de la población.

Para abordar los problemas energéticos desde una perspectiva crítica, el análisis debe pasar de los enfoques que entienden la energía como una "cosa" o un "recurso" hacia posturas que la conciben como una "relación social" inmersa en redes de poder y cambio

socioecológico (Huber, 2008). La influencia de la estructura industrial (control del Estado o empresas privadas, monopolio o libre competencia); el sistema político (democrático o autoritario); disponibilidad de recursos (yacimientos petroleros, corrientes de viento, radiación solar), e incluso el aprendizaje tecnológico y formación de capacidades (acceso a educación, financiamiento a I+D), son factores que impactan directamente en el diseño y ejecución de las políticas energéticas.

Preguntas de investigación

Particularmente en México, el cenit de la producción petrolera se registró en 2004. Y los yacimientos localizados en las aguas someras y profundas del Golfo de México no serán suficientes para compensar la caída de Cantarell (el macro yacimiento que llegó a representar más de 60 por ciento de la producción nacional) y aportar una cantidad mayor a la alcanzada en ese año (Páez, 2012).

Actualmente, el país atraviesa por dos grandes transformaciones que buscan, en el corto plazo, modificar la estructura de las principales Empresas Productivas del Estado en el sector, Petróleos Mexicanos (Pemex) y Comisión Federal de Electricidad (CFE), con el fin de orientarlas hacia mercados internacionales más competitivos; y, en el largo plazo, un cambio o transición desde los energéticos primarios fósiles y las tecnologías que producen altas cantidades de gases de efecto invernadero (GEI), a energías alternativas, renovables y sustentables. El reto, según los documentos oficiales, consiste en diseñar políticas que permitan articular ambas estrategias, teniendo por antecedente una alta dependencia del petróleo como fuente de energía y soporte de las finanzas nacionales en el último medio siglo.

A nivel mundial, enfrentamos un escenario de transformación de la industria energética donde las herramientas tecnológicas desempeñan un papel fundamental en la generación de nuevos materiales y procesos para captación, almacenamiento y distribución de energía. Es en este contexto que las nanotecnologías, con su capacidad habilitadora, se despliegan como una alternativa que complementa y potencia la cadena de suministro energético, y México ha destinado recursos financieros y humanos a su desarrollo.

La primera ocasión que las nanotecnologías aparecieron en la agenda nacional fue en el Programa Especial de Ciencia y Tecnología (PECyT) 2001-2006, donde se les denominó

área de interés para la investigación, específicamente del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) (Conacyt, 2002). En la última década se han implementado acciones que buscan integrar a universidades, centros públicos, empresas privadas e instituciones del gobierno con el fin de desarrollar capacidades nanotecnológicas. Sin embargo, todavía existe un vacío significativo en la sistematización de información relacionada con el desarrollo de estas tecnologías en México. Esto se debe a la falta de una iniciativa, política pública o algún marco regulatorio que implique el ordenamiento de datos sobre este paquete tecnológico. En consecuencia, y con la finalidad de realizar un diagnóstico del avance de estas tecnologías en el sector energético del país, esta investigación tiene por guía las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo se forman las capacidades nanotecnológicas para el sector energético en México?
2. ¿Qué papel tienen los diferentes agentes (Estado, empresas y entidades de educación superior e investigación) en la construcción y consolidación de estas capacidades?

Estas preguntas se acompañan de cuestiones complementarias que profundizan el perfil analítico de las precedentes en cuanto a i) quién produce el conocimiento científico encaminado a la acumulación de capacidades nanotecnológicas para el sector energético en México; ii) quién se apropia de ese conocimiento mediante instrumentos de propiedad intelectual, como patentes; iii) cómo y en qué medida se materializa productivamente.

Hipótesis

Para integrar una respuesta a las preguntas anteriores, hemos planteado la siguiente hipótesis de trabajo:

En México, la formación de capacidades nanotecnológicas en el sector energético se realiza indirectamente a través de la interacción simultánea, pero no coordinada, de las políticas científico-tecnológica y energética. Este proceso se lleva a cabo en ausencia de una estrategia nacional de nanotecnologías y está supeditado a las grandes tendencias de I+D que marcan los centros científico-tecnológicos y las corporaciones del Norte global.

Los agentes que participan en la formación de estas capacidades (centros de

investigación, universidades, gobierno y empresas) realizan actividades de I+D, protección intelectual y productos nanohabilitados con la finalidad captar mayores ganancias, en un escenario mundial donde la industria ha volcado esfuerzos hacia fuentes de energía alternativas y renovables.

La mayor parte de la I+D en aplicaciones nanotecnológicas para el sector energético se financia y se lleva a cabo al interior de entidades públicas. Sin embargo, respecto a países desarrollados, es muy poco lo que se materializa en patentes y productos.

La formación de estas capacidades se enmarca en un proceso histórico-estructural de desarrollo desigual entre las distintas regiones y entidades del país. Esto origina, por un lado, atraso de México respecto a las naciones líderes en el tema y, por otro, una desarticulación entre lo que se investiga, patenta y produce.

Debido a la ausencia de una política pública específica que articule y conduzca la I+D hacia necesidades sociales y aspectos claves en el sector energético, junto con una política industrial que integre la actividad productiva con estos objetivos, los esfuerzos científicos y tecnológicos son condenados a perecer en su etapa más temprana.

Para comprobar estas afirmaciones, a lo largo de este trabajo identificamos las capacidades nanotecnológicas para la energía que desarrollan los agentes involucrados, y partimos de una sistematización de información que permite analizar y problematizar sus implicaciones para el desarrollo.

Objetivos

Esta investigación tiene como objetivo general: analizar la formación de capacidades nanotecnológicas del sector energético en México. Apegándonos al concepto de Kim (2000), y aplicado a este caso, se trata del proceso de generación, asimilación, uso, adaptación y cambio de las nanotecnologías en la cadena de suministro de energía. El estudio se complementa con los aportes de Lall, donde las capacidades se pueden agrupar en tres grandes apartados: inversión física, capital humano y esfuerzo tecnológico (Lall, 1992). Para identificar estos elementos, se recopiló y sistematizó información de los agentes

(universidades y centros de investigación, gobierno, empresas) que desarrollan, patentan y producen aplicaciones de nanotecnologías para la energía en el país.

De forma específica, se presentará el número de publicaciones, proyectos de investigación, patentes y productos de nanotecnologías que tienen relación directa con el sector energético nacional, desde su primera mención en documentos oficiales, en 2002, y hasta el 2019. Esto permitirá realizar un diagnóstico del estado actual de esta tecnología en un sector clave para México, así como las implicaciones que su avance tiene para el desarrollo.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1.1 Institucionalización del desarrollo capitalista

La noción del desarrollo permanece enmarcada por la economía neoclásica y conserva como base los lineamientos de programas multilaterales propuestos por agencias de ayuda internacional. Crecimiento económico, reducción de la pobreza, acuerdos comerciales y establecimiento de controles financieros (evitar o reducir endeudamiento) han sido prioridad de los países en las últimas tres décadas (Kothari & Minogue, 2002). Paradójicamente, a pesar de haber logrado avances en la calidad de vida de la humanidad, la profundización de la pobreza y el incremento de la desigualdad siguen siendo temas pendientes.

El concepto de desarrollo en la modernidad surge de la versión inacabada que le antecede: el subdesarrollo.⁶ En 1949, Harry Truman introdujo por primera vez este concepto al señalar que: [Estados Unidos] debería embarcarse en un nuevo programa para hacer que los beneficios de sus avances científicos y el progreso industrial estén disponibles para la mejora y el crecimiento de las áreas subdesarrolladas (Truman, 1949). El subdesarrollo, empleado para referirse a las naciones económicamente atrasadas, reconfiguró las relaciones entre países, diferenciando entre aquellos que tenían riqueza, y los que tenían hambre, pobreza y estancamiento. A través de la implementación de nuevas tecnologías, propuestas de política, recomendaciones y estrategias para superar el “atraso”, se moldearon los instrumentos para la dominación hegemónica estadounidense. El protagonismo de este país se manifestó tanto en la discusión y construcción teórica, como en la creación de instituciones internacionales consagradas a la promoción del desarrollo. Con la cooperación de sus universidades de mayor renombre (Harvard y Cambridge) se diseñaron las ideas y los discursos dominantes, a pesar de que sus trabajos tendían a equiparar y a reducir^[SEP] la noción de desarrollo a la de crecimiento económico.

Bergsten (1976) argumenta que el mundo ha transitado por tres etapas de reconstrucción institucional para promover esta idea de desarrollo. En 1945, al terminar la Segunda Guerra Mundial, se creó el sistema de Naciones Unidas, junto con sus componentes económicos (el Fondo

⁶ Subdesarrollo y desarrollo no se plantean como términos opuestos o antagónicos; por el contrario, llevan continuidad. Lo primero se refiere a una versión precedente e inacabada de lo segundo. Un país en condición de subdesarrollo tiene la oportunidad de transitar hacia un escenario de desarrollo.

Monetario Internacional –FMI, el Banco Mundial –BM y el Acuerdo General sobre Comercio y Aranceles –GATT) (Bergsten, 1976). En 1948, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) injertó una Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en Santiago de Chile (que más tarde sería la cuna del neoliberalismo), donde surgirían las teorías estructuralistas.

La segunda etapa de reconstrucción se empata con un rápido periodo de crecimiento económico, en la década de los 60`s, que eclipsó el énfasis sobre la incidencia de los aspectos sociales en el proceso de desarrollo. En este periodo surgió la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), los bancos regionales de desarrollo y la Organización de Países Productores de Petróleo (OPEP). En América Latina, fueron años de abundante producción académica sobre la relación entre la dinámica de distribución del ingreso y el crecimiento en condiciones heterogeneidad estructural, concepto nacido en la CEPAL al analizar las disparidades en materia de productividad y remuneración del trabajo entre personas, sectores y regiones, resultado de condiciones históricas heredadas (Bielschowsky, 2009).

La tercera etapa se presentó a inicios de los 70`s, cuando se remarcaron las asimetrías entre países, y al interior de ellos. Las crisis del petróleo eran cada vez más profundas y las preocupaciones por el medio ambiente comenzaron a tomar un lugar especial en el proceso de desarrollo. Surgieron el Programa de Medio ambiente de la ONU (PNUMA), la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y la Agencia Internacional de Energía (IEA) –creada por la OCDE, para comenzar a vigilar la conducta de la OPEP. De acuerdo con Bergsten (1976), esta etapa continúa vigente. Sin embargo, el autor publicó este trabajo antes de la implementación de las medidas neoliberales en la década siguiente, por lo que podemos agregar otra etapa de reconstrucción institucional, la del Consenso de Washington.

Esta cuarta etapa, producto de desequilibrios macroeconómicos internos y afectaciones mundiales tanto en los precios de los hidrocarburos como en la disponibilidad y costo del financiamiento externo, se conoce como la crisis de la deuda (Bárcena, 2014). Sus efectos detonaron en la década de los 80`s, especialmente en América Latina. Varios países perdieron la capacidad de atender sus compromisos y entraron en cesación de pagos. El impacto sobre la capacidad productiva, el empleo y las condiciones sociales fue tan fuerte que la CEPAL definió los años siguientes como una “década perdida” para el desarrollo económico y social de la región (Ocampo et al., 2014). Para contrarrestar esta situación, se aplicó una variedad de medidas de sesgo contractivo encaminadas a superar la crisis. La propuesta (exigencia) vino del FMI, BM y el

Departamento del Tesoro de Estados Unidos. Se trataba de esquemas de política económica que representan todo aquello que iba en contra del proyecto común adoptado por la mayoría de los países latinoamericanos en la posguerra. Williamson (2008) resume, de forma magistral, lo que se denominó Consenso de Washington (atribuido a la sede de las instituciones), en 10 puntos:

- 1.- disciplina fiscal;
- 2.- reordenamiento en las prioridades del gasto público;
- 3.- reforma fiscal;
- 4.- liberalización de las tasas de interés;
- 5.- tipos de cambio competitivos;
- 6.- liberalización del comercio;
- 7.- apertura a la inversión extranjera directa;
- 8.- privatizaciones;
- 9.- desregulaciones;
- 10.- derechos de propiedad (Williamson, 2008).

Este paquete de reformas estructurales puso énfasis en el restablecimiento del mercado como mecanismo central para la asignación de recursos en la economía, garantizar la defensa de la propiedad privada y el adelgazamiento del sector público. De esta forma, sectores estratégicos que tradicionalmente estuvieron regulados por el Estado (salud, educación, energía)⁷ pasaron a la mano del “libre mercado”. Este marco operativo de la economía ortodoxa o neoclásica, en la que la asignación de los recursos existentes se produce dentro de una estructura social e institucional dada y presumiblemente inmutable, ha sido la clave de los modelos económicos modernos (Cypher & Dietz, 2009).

En 1996, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) puso en marcha los Objetivos del Desarrollo internacional (ODI), bajo un consenso de sus miembros de reducir la pobreza mundial a la mitad para el 2015, lograr educación primaria universal, remover las disparidades de género en las escuelas, acceso a salud reproductiva, reducciones específicas en índices de mortalidad infantil y materna, y revertir la pérdida de recursos naturales (Black, 2004). Los ODI son el antecedente de la agenda de desarrollo con mayor difusión mundial, que la ONU implementó a inicio del presente siglo.

⁷ Costa Rica, Honduras, Cuba, México, Paraguay, Puerto Rico, Uruguay y Venezuela mantienen esquemas de monopolio público para organizar sus mercados energéticos. Sin embargo, es importante precisar que el modelo de monopolio público contiene subcategorías. Así por ejemplo, algunos países mantienen monopolio estatal puro como: Venezuela, Paraguay, Honduras, Puerto Rico, Cuba y Uruguay, mientras que otros optaron por un modelo de monopolio estatal atenuado, en el cual se permite la participación privada en las actividades no catalogadas como servicios públicos, o bien se establece la figura del comprador único, en la cual las empresas públicas tienen derecho especial y exclusivo a comprar la energía eléctrica producida por terceros como es el caso de México y Costa Rica (Moreno, 2012, p. 51).

En septiembre de 2000, los 191 Estados Miembros de la ONU se comprometieron a luchar contra la pobreza, el hambre, la enfermedad, el analfabetismo, la degradación del medio ambiente y la discriminación contra la mujer, a través de ocho objetivos, que denominaron Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), y que acordaron tratar de alcanzar para 2015. Los ocho ODM consistían en:

1. Erradicar la pobreza extrema y el hambre;
2. Lograr la enseñanza primaria universal;
3. Promover la igualdad entre los sexos y la autonomía de la mujer;
4. Reducir la mortalidad infantil;
5. Mejorar la salud materna;
6. Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades;
7. Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente; y
8. Fomentar una asociación mundial para el desarrollo (OMS, 2020).

Al llegar 2015, se reconoció que no se había logrado cumplir en su totalidad los ODM. Ese mismo año, los Miembros de la ONU se dieron otro plazo de 15 años para cumplir, esta vez, 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)⁸ en 2030. Ahora se tratará de:

1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo
2. Hambre cero
3. Salud y bienestar
4. Educación de calidad
5. Igualdad de género
6. Agua limpia y saneamiento
7. Energía asequible y no contaminante
8. Trabajo decente y crecimiento económico
9. Industria, innovación e infraestructura
10. Reducción de las desigualdades
11. Ciudades y comunidades sostenibles
12. Producción y consumo responsables
13. Acción por el clima
14. Vida submarina
15. Vida de ecosistemas terrestres
16. Paz, justicia e instituciones sólidas
17. Alianzas para lograr los objetivos (ONU, s/f).

Esta reformulación establece objetivos que se interrelacionan entre sí y buscan incorporar los desafíos globales, como la pobreza, la desigualdad, el clima, la degradación ambiental, la

⁸ Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con las 169 metas tienen un alcance más amplio y van más allá que los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) al abordar las causas fundamentales de la pobreza y la necesidad universal de lograr un desarrollo a favor de todas las personas. Los objetivos abarcan las tres dimensiones del desarrollo sostenible: el crecimiento económico, la inclusión social y la protección del medio ambiente (ONU, s/f).

prosperidad, la paz y la justicia (ONU, s/f). Sin embargo, hay autores que argumentan fallas graves e incluso el fracaso de los ODM y los ODS como estrategia integral, si consideramos al desarrollo como una reducción de las desigualdades, pues profundizan las brechas entre ricos y pobres, benefician a las corporaciones y dejan fuera a múltiples grupos por condiciones sociales, económicas, políticas, étnicas, sexuales, culturales y específicas (Black, 2004; Cypher & Dietz, 2009; Kothari & Minogue, 2002). Los últimos objetivos enlistados en cada estrategia (No. 8 en los ODM y No.17 en los ODS) retienen a los países en un estado de dependencia, impidiéndoles diseñar su propia ruta de desarrollo e imponiéndoles lineamientos importados.

El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) reconoció en 2018 que el hambre ha aumentado en los últimos tres años, volviendo a los niveles de hace una década; una de cada nueve personas en el mundo la padece (FAO, 2018).⁹ Además, en 2020, la ONU informa que unos 783 millones de personas viven por debajo del umbral de pobreza internacional, con 1.90 dólares diarios. La mortalidad infantil sigue siendo elevada en África Subsahariana y en Asia Meridional; cuatro de cada cinco muertes de los niños menores de cinco años ocurren en estas regiones.¹⁰ En el mundo 3 de cada 10 personas no cuentan con servicios de agua potable y 6 de cada 10 carecen de acceso a instalaciones de saneamiento gestionadas de forma segura (ONU, s/f).

No se pretende aquí restar mérito al propósito e intención de estos objetivos, por el contrario, se reconoce que a través de los años se han implementado avances considerables en el estudio y abordaje del desarrollo. Particularmente en la ampliación e inclusión de áreas estratégicas como agua, energía, medio ambiente, educación y seguridad. Sin embargo, también debe señalarse que se trata de una agenda implementada desde arriba, donde agencias como el BM y otros grandes participantes de la noción moderna del desarrollo lanzan diferentes ideas sobre lo que este debe constituir, pero en realidad apoyan una versión neoliberal “*capitalist-friendly*” (Kothari & Minogue, 2002). Además, existen todavía temas que no han sido cubiertos por los ODM/ODS/Consenso de Washington, e incluso aspectos que no fueron considerados en su diseño.

Las estrategias de estos organismos se rigen por el argumento de que, al incrementar la producción material, el crecimiento derivará de forma automática en desarrollo. Sin embargo, el

⁹ Además, 10.2 por ciento de la población mundial se encontraba en inseguridad alimentaria severa en 2017, mientras que en 2014 este porcentaje era el 8.9 por ciento (FAO, 2018).

¹⁰ Los niños que nacen pobres tienen casi el doble de probabilidades de morir antes de los cinco años que los de las familias más ricas (ONU, s/f).

avance de las fuerzas productivas es inherente al capitalismo, por lo que algunas mejoras en la calidad de vida global no implican necesariamente mayor bienestar. Existen grupos sociales que no participan de la distribución de la riqueza, mientras que otros grupos la concentran y centralizan, acumulando poder. Persiste la segregación de ciertos grupos en este proyecto por cuestiones de género, etnia, religión o clase social. Se deja fuera la historia colonial de una gran cantidad de países que lograron su independencia apenas terminada la Segunda Guerra Mundial (a raíz de la presión estadounidense por liberarlos).

La invención del “Tercer Mundo” se convirtió en un motivo de discriminación política y comercial, afectando la cooperación internacional (punto de la estrategia de la ONU). Construir una ruta de desarrollo lleva tiempo, incluso las regiones que hoy se consideran desarrolladas tuvieron que establecer y fortalecer instituciones, políticas, infraestructura, marcos políticos, jurídicos y económicos en el transcurso de décadas o siglos, por lo que el punto de partida ha sido desigual para muchos países del sur. Las naciones que no lograron entrar en la industrialización debieron participar en la cooperación mundial como proveedores de materias primas (fenómeno que estudió profundamente la CEPAL).¹¹

Pero también es necesario mencionar que existen casos de éxito donde el libre mercado no necesariamente ha dirigido las políticas de desarrollo. El caso de Corea del Sur y su industrialización tardía ejemplifican esta situación. El éxito de las políticas coreanas consistió en fortalecer la actividad industrial y fomentar el crecimiento de los monopolios y oligopolios bajo la dirección del Estado. Cada etapa de evolución de sus ventajas comparativas —de fabricar textiles y zapatos, a televisores y construcción, al acero, a la construcción de barcos, automóviles, computadoras y semiconductores— fue iniciada y apoyada por planificadores estatales, no por empresarios (Amsden, 1992). Otro rasgo distintivo de este modelo es su apuesta por el aprendizaje, la ciencia y la tecnología como ejes del desarrollo. Las economías del sureste de Asia, denominadas tigres asiáticos (Corea del Sur, Hong Kong, Singapur y Taiwán) establecieron fuertes mecanismos de protección estatal a la I+D, y lograron reproducir el ciclo: ingeniería inversa-aprendizaje tecnológico-protección estatal al fomento de innovaciones nacionales-exportación de tecnologías

¹¹ En respuesta, han surgido otros enfoques que parten del reconocimiento de la desigualdad de oportunidades y la existencia de tendencias intrínsecas en el sistema capitalista, y colocan sobre la mesa prácticas, procesos (p. ej. de abajo hacia arriba, participativo, de izquierda a derecha) y teorías alternativas al desarrollo, centradas en el sujeto y considerando aspectos culturales, manifestaciones artísticas, entorno social, político e incluso psicológico como un espectro integral del desarrollo.

propias. Esta estrategia les permitió mantener altas tasas de crecimiento e industrialización. Con ello incrementaron también los indicadores de desarrollo de su población en áreas como la educación, trabajo, ingreso per cápita, salud y acceso a información. Este modelo se difundió y aplicó en otros países del sureste asiático, volviéndose un parteaguas en las concepciones teóricas sobre el desarrollo. Se pusieron a discusión el papel del aprendizaje, el conocimiento científico, su aplicación como tecnología en el crecimiento económico y el rol del Estado como regulador de los productos de la Ciencia y la Tecnología (CyT) en una economía capitalista de mercado. Sobre estos puntos abundamos en las siguientes secciones.

1.2 El papel de la ciencia y la tecnología en el desarrollo

La CyT se han consolidado como un elemento fundamental en el proceso de desarrollo de los países. Su progreso altera constantemente las características del sistema productivo, tanto en las economías capitalistas como en las socialistas, y es imposible descuidar el hecho de que el surgimiento de la investigación industrial organizada y la aparición de una tecnología vinculada a la ciencia han sido factores decisivos en la apertura de nuevos caminos para la acumulación capitalista y en la aceleración del proceso de crecimiento industrial (Sagasti, 1981).

En los últimos 30 años hemos atestiguado un incremento de posturas teóricas centradas en el estudio del cambio tecnológico y su relación con el crecimiento económico, posicionando a la CyT como elementos estratégicos de las políticas gubernamentales, bajo el entendido de que los países con mayores inversiones en I+D lograrán acelerar su desarrollo. A pesar de presentarse como contemporáneas, estas teorías mantienen una estrecha relación con las ideas planteadas por Marx, en el siglo XIX. Sin embargo, ninguna de ellas rescata su enfoque de análisis global, y menos aún la conexión que estableció entre el cambio tecnológico y las leyes de acumulación del capitalismo. De hecho, los autores neoschumpeterianos han tomado solo aquellos rasgos que sirven de argumento contra las escuelas rivales; por eso, restringen exclusivamente a ciertos escritos de Marx una teoría de la innovación que en realidad ha sido desarrollada intensamente por marxistas en los últimos 100 años (Katz, 1996).

Estos enfoques modernos omiten mencionar que la economía capitalista representa la unión del proceso material-tecnológico y sus formas sociales. En esto se distinguen dos aspectos fundamentales: el técnico (fuerzas productivas materiales) y el socioeconómico (relaciones sociales

de producción) (Rubin, 2019). Economistas ortodoxos y evolucionistas asimilan indistintamente capital e innovación, eliminando la diferencia entre las relaciones sociales (entre personas) y las relaciones técnicas (entre cosas), y atribuyen a las máquinas (avances técnicos) la propiedad de crear nuevo valor, desconociendo que esta facultad es exclusiva de los hombres (obreros, científicos e ingenieros) que actúan en el proceso de trabajo (Katz, 1996).¹² Una nueva tecnología es capaz de generar una mayor cantidad de productos, o diferenciar los ya existentes, pero no crea nuevo valor; se trata simplemente de una redistribución del valor contenido en las máquinas (captado por los “innovadores”). Además, al utilizar cada vez menos trabajo vivo (modificando la composición orgánica del capital),¹³ las nuevas tecnologías reducen el nivel de empleo y, por lo tanto, disminuyen tendencialmente la generación de valor y plusvalor (excedente) a nivel global.

En consecuencia, es clave distinguir entre el valor de uso y el valor de cambio de la tecnología, algo que tampoco mencionan de forma explícita las teorías contemporáneas y que resulta fundamental para comprender el fenómeno de estudio de este trabajo. Como valor de uso, la tecnología es concebida como conocimiento (con características específicas) que puede ser aplicado directa e instantáneamente a la producción, comercialización y distribución de mercancías. En este caso, la tecnología se asume como universal, dado que trasciende las formas particulares de organización social. Es decir, cualquiera puede acceder a ella e implementarla en el proceso productivo en cualquier momento. Desde la perspectiva del valor de cambio, la tecnología se considera un activo que se apropia privadamente y que otorga poder en el mercado. Como tal, es capaz de generar rentas monopólicas para quienes la controlan y explotan. Esto introduce las relaciones de poder y aborda la manera en que la tecnología se vuelve un medio para extraer excedente de quienes la adquieren a través del comercio (Sagasti, 1981), donde su precio de mercado estará determinado por la oferta y la demanda.

¹² Esto se conoce como fetichismo tecnológico, cuando se le otorga al capital la capacidad de organizar la fabricación de productos, y se cosifican las relaciones sociales. Para evitarlo, es indispensable separar el proceso interno de la innovación de su entorno capitalista (Katz, 1996).

¹³ Si determinadas tecnologías permiten reducir la composición orgánica de capital (menos trabajo asalariado en proporción al capital total invertido), se benefician al obtener el mismo o mayor producto con menor inversión. Lo mismo sucede cuando consiguen sustituir una materia prima por otra más barata. En cualquier caso, abaratan los costos de producción o aumentan el volumen de producción.

Las escuelas de pensamiento que se revisan a continuación no establecen una distinción clara entre estos aspectos. Sin embargo, es útil mantener estas diferencias en mente al examinar la pertinencia y aplicación de modelos de estas teorías a la situación de países menos desarrollados.

1.2.1 Teoría neoclásica del cambio tecnológico

La teoría neoclásica está basada en el modelo estático de competencia perfecta. La doctrina ortodoxa, como también se le conoce, trabaja bajo el supuesto de un agente representativo único, maximizador, racional y competente, asentado en los “micro fundamentos” del marginalismo (Lastra, s/f). Los conceptos que utiliza para explicar el funcionamiento de la sociedad capitalista son la oferta y la demanda (teoría de la conducta del consumidor), que determinan los precios en el mercado (teoría de los precios). Estos últimos son el mecanismo por el cual se asignan eficientemente los recursos escasos de una sociedad determinada, a través de la maximización simultánea del beneficio del empresario (teoría de la producción) y la utilidad del consumidor (teoría de la demanda) (Aboites, s/f).

Para esta teoría, los cambios en el producto, atribuidos a la implementación de nueva maquinaria y recursos humanos, se explican a través de una función de producción. Uno de sus modelos más influyentes es el del economista estadounidense Robert Solow, quien a mediados de la década de los 50`s demostró que el crecimiento económico de largo plazo sólo ocurría mediante un factor externo (residuo), que representaba el cambio tecnológico (Solow, 1956).¹⁴ El modelo fue planteado de la siguiente forma:

$$Y = A(t)F(K, L)$$

La función presenta rendimientos decrecientes tanto para K (capital) como para L (trabajo) a corto plazo; mientras que, a largo plazo, hay rendimientos constantes a escala al sustituir los factores en la misma proporción. $A(t)$ representa un factor de escala creciente por el que se multiplica la función de producción; Solow lo consideró un “cambio tecnológico neutral” (Solow, 1956), es decir, que afecta al modelo pero no su forma general. Por lo tanto, no sólo dejó fuera del

¹⁴ Para el desarrollo de este modelo, Solow retomó los trabajos de Harrod y Domar (Harrod, 1939), aceptando todos sus supuestos, excepto el de la existencia de proporciones fijas (de capital y trabajo) (Solow, 1956, p. 66).

análisis el papel de este factor en el crecimiento, al considerarlo neutral; además, al no lograr explicar su naturaleza, lo consideró un elemento exógeno:

El problema es mucho más grave de lo que parece porque, si seguimos los postulados neoclásicos, el progreso tecnológico DEBE ser exógeno. Esto reduce enormemente la utilidad del modelo porque basa todo el crecimiento a largo plazo en los aumentos no explicados y no explicables de la variable tecnológica. Esta conclusión hace que el modelo neoclásico de crecimiento sea intelectualmente insatisfactorio (Sala-i-Martin, 2000, p. 42).

Los neoclásicos suponen que el cambio tecnológico está disponible para todas las economías y tiene los mismos efectos, independientemente del nivel de desarrollo de cualquier país específico. En esta teoría, la tecnología es un bien muy distinto a los bienes materiales; se entiende como una "fórmula" o "conocimiento" que permite a las empresas "mezclar" capital y trabajo para generar un producto atractivo para los consumidores (Sala-i-Martin, 2000). El cambio tecnológico es visto como una acción dirigida hacia la meta de la maximización. Esta acción se traduce en la elección de la mejor técnica de un conjunto posible y perteneciente al caudal de información y conocimiento libremente disponible a las empresas (Gallego, 2003). De este modo, las máquinas, las herramientas, los edificios y todos los demás insumos requeridos para la producción que conforman lo que los economistas neoclásicos llaman "capital" son un tema común que explica el crecimiento a largo plazo (Cypher & Dietz, 2009).

En este escenario de libre albedrío, donde cada agente hace lo que desea y le conviene, no se explica por qué el cambio tecnológico es un elemento indispensable en la acumulación. Los neoclásicos, deben recurrir al artificio del "*progreso técnico exógeno*",¹⁵ porque no aciertan a explicar el carácter obligatorio de la innovación en la reproducción, ni su conexión con la extracción de plusvalía (Lastra, s/f). De hecho, el excedente es un tema que no se menciona en esta teoría, pues cada factor de la producción es retribuido a través de su productividad marginal. El modelo de Solow puede aplicarse a los países desarrollados, pero para comprender el desarrollo económico de la mayoría de las naciones, especialmente las más pobres, se requiere tomar en cuenta más elementos.

Entre las cosas que quedan fuera del análisis neoclásico está el papel de los países atrasados en la dinámica del cambio tecnológico. Estos países sólo pueden participar del crecimiento y la convergencia si presentan tasas de ahorro y crecimiento poblacional similares (Solow, 1956), es

¹⁵ En esta crítica, convencional hacia la teoría neoclásica, permanece la idea de que el equipo físico genera nuevo valor; sin embargo, esto no es así. La tecnología (maquinaria, etc.) solo transfiere el valor incorporado previamente. Por lo tanto, a pesar de que al interior de la división social del trabajo capitalista se encuentra separado el diseño mental (centros de I&D) de la aplicación final, el equipo físico por sí mismo no crea cambio tecnológico.

decir, están condicionados a compartir los mismos fundamentos (mientras comparten la misma tecnología, lo que es exógeno a cada país). Por lo tanto, su aspiración y capacidad no radica en crear nuevas tecnologías, sino replicar y adaptar lo que ya han hecho las naciones desarrolladas, eliminando todo incentivo de innovar. Además, el desarrollo de un nuevo producto requiere de una relación estrecha entre la empresa innovadora y los abastecedores de equipo de producción. Por ello, la innovación se producirá en país para cuyo mercado fue diseñada, remarcando las asimetrías entre productores y consumidores de tecnología.

A pesar de las múltiples carencias teóricas para abordar el fenómeno del cambio tecnológico, Solow abrió la puerta, aunque no siempre de manera explícita, a considerar dos aspectos fundamentales en el crecimiento: las políticas públicas y el papel de la educación (capacitación, recursos humanos, capital humano), que serían objeto de estudios posteriores.

1.2.2 Teorías endógenas del cambio tecnológico

Con el propósito de introducir el residuo de Solow a una función de producción, surgieron nuevos intentos teóricos por “endogenizar” los factores que inciden en incrementos de la productividad. Se trató de dar continuidad y perfeccionamiento a la teoría neoclásica, buscando explicar el cambio tecnológico a través de la incorporación del capital humano como factor principal del crecimiento económico. Las *teorías del crecimiento endógeno* buscaron transitar del precepto de competencia perfecta hacia la competencia por innovación, pero mantuvieron explícito el reconocimiento a los derechos monopólicos de las empresas innovadoras. Estas teorías se subdividieron en dos generaciones. La primera, encabezada por Paul Romer, Robert Lucas y Robert Barro, y toma como punto de partida central los postulados de Kenneth Arrow sobre externalidades en la acumulación de capital (K. Arrow, 1970). Bajo esta concepción, los efectos del conocimiento ya no están asociados al capital físico, sino al conocimiento como forma básica de capital (Romer, 1986).¹⁶

¹⁶ Romer presenta un modelo de equilibrio competitivo con cambio tecnológico endógeno, donde supone que el conocimiento es un insumo que tiene una productividad marginal creciente. En este modelo, el crecimiento a largo plazo está impulsado principalmente por la acumulación de conocimiento por parte de los agentes orientados al futuro y que maximizan los beneficios (Romer, 1986).

Otros autores adscritos a esta escuela definieron a este factor como la acumulación de capital humano (Lucas, 1988);¹⁷ o el gasto gubernamental; es decir, I+D (Barro, 1990).¹⁸

Sin embargo, en estos enfoques persisten las carencias teóricas para abordar el fenómeno del cambio tecnológico, sobre todo cuando consideramos que el único principio del capital es la búsqueda de ganancias, y que este objetivo requiere cambios tecnológicos permanentes, pero de ninguna manera identificados con un aumento generalizado (y en la misma intensidad) de la educación o las actividades de I+D. De hecho, uno de los supuestos centrales de estas teorías es que la motivación para invertir radica en la expectativa de beneficio, ya que el incentivo es la oportunidad de incrementarlo a partir de un desarrollo tecnológico (Mayer-Foulkes, 2010). Estos argumentos son comúnmente utilizados para justificar la relación inversión-innovación-ganancia; sin embargo, detrás queda implícito el razonamiento de que son las empresas o instituciones públicas las que provocan el cambio tecnológico, y subyace la idea de que es la tecnología lo que genera el nuevo excedente. Pero, como establecimos al inicio de este apartado, el excedente surge de reducir el valor individual de las mercancías en comparación con el valor social de las mismas; abaratando los costos de producción respecto de los costos medios de las ramas que los fijan. Es decir, todo el argumento de la expectativa de beneficio a través de la implementación de tecnología está montado sobre el concepto de plusvalor extraordinario, desarrollado a profundidad por Marx desde mediados del siglo XIX.

En la década de 1980, la teoría del equilibrio general enfrentó severas críticas por la insuficiencia de sus supuestos para explicar el papel de los factores técnicos en el crecimiento económico. Además, el capitalismo sufrió una serie de cambios estructurales que lo llevaron a un nuevo estadio de evolución,¹⁹ que permitió la unificación de un conjunto de enfoques heterodoxos

¹⁷ Lucas planteó, en su *Mecánica del desarrollo económico* (1988), un modelo que enfatiza la acumulación de capital humano a través de la escolarización y un modelo que enfatiza la acumulación especializada de capital humano a través del aprendizaje práctico (*learning by doing*) (Lucas, 1988).

¹⁸ Barro incorpora el sector público a un modelo de crecimiento económico simple y constante. Debido a las externalidades familiares asociadas con el gasto público y los impuestos, los valores privados determinados de ahorro y crecimiento económico pueden ser subóptimos. Por lo tanto, hay opciones interesantes sobre políticas gubernamentales, así como predicciones empíricas sobre las relaciones entre el tamaño del gobierno, la tasa de ahorro y la tasa de crecimiento económico (Barro, 1990).

¹⁹ Entre estos cambios cabe incluir el deterioro social y político en América Latina, el llamado “milagro asiático”, la continuidad del vertiginoso ascenso industrial japonés y el auge exportador alemán. Estos fenómenos fueron precedidos por la debacle de la economía del desarrollo, por la “desilusión” con el industrialismo en América Latina (agotamiento de la ISI) y por la efímera adopción de estrategias neoclásicas “moderadas” que dieron paso, después de la crisis de la “deuda”, al radicalismo neoliberal (Rivera Ríos & Caballero, 2015, p. 63).

(Rivera Ríos & Caballero, 2015). De ellos surge una segunda generación de modelos que retoma las ideas de Schumpeter.

1.2.3 Teorías neoschumpeterianas/evolucionistas del cambio tecnológico

En la visión de innovación que presenta Schumpeter, hay un intento de situar histórica y socialmente la relación del capital con la tecnología. Pero aquí reaparece el fetichismo de la tecnología bajo la modalidad de un tipo especial de individuo, cuya presencia sería la condición para que la invención se transforme en innovación (Katz, 1996). Schumpeter coloca la existencia de empresarios innovadores como una condición de la acumulación (Schumpeter, 1957). Estos *entrepreneurs*, si bien diferentes a un agente racional en la concepción neoclásica, comparten el supuesto central de la teoría marginal, al mencionar que son económicamente premiados por su contribución al cambio tecnológico.

Estas premisas fueron la base para las teorías neoschumpeterianas, o evolucionistas²⁰, que proponen explicar cuáles son los contextos históricos, económicos y políticos que condicionan la innovación (Freeman, 1987; Hodgson, 1999, 2011). La reintroducción de la historia es uno de los grandes méritos del evolucionismo, ya que estudia episodios concretos del cambio tecnológico, en oposición al formalismo abstracto de los modelos neoclásicos que no advierten el origen del componente tecnológico (Katz, 1996).

Esta corriente se consolidó a partir de las década de 1980, cuando una oleada de nueva bibliografía surgió para estudiar el éxito de las economías dinámicas de Asia con un enfoque inspirado en las aportaciones de Schumpeter, Weber, Gerschenkron, y en nuevos planteamientos como los de Nelson y Winter , quienes sientan una de las bases del evolucionismo moderno.²¹ Los

²⁰ Joseph Schumpeter definió la evolución en términos de cambios institucionales y estructurales, no en términos biológicos. Colocó al centro de la evolución al cambio tecnológico y al empresario como innovador de la organización. El término "economía evolutiva" tiene una variedad de significados. En términos generales, los neoschumpeterianos usan el término para referirse al estudio del desarrollo y el cambio en los sistemas económicos. Más estrictamente, algunos autores usan el término para referirse por metáfora o analogía a la evolución biológica (Hodgson, 1999).

²¹ Las ideas evolutivas en la economía tienen una larga historia. Adam Smith promovió una de las ideas centrales en este paradigma: los resultados económicos no siempre son el resultado de un diseño general consciente y el orden social puede surgir sin una dirección central. Alfred Marshall se inspiró en las ideas evolutivas de Herbert Spencer, y Thorstein Veblen (1898-1899), quien fue uno de los primeros en importar a las ciencias sociales los principios evolutivos de Charles Darwin (Hodgson, 2011). Diversas ideas evolutivas fueron desarrolladas posteriormente por

análisis de los neoshumpeterianos, intentaron dar cuerpo al fenómeno tecnológico al explicar su proceso histórico, económico, social e institucional, a partir del conocimiento acumulado. Además, los cambios en la economía mundial crearon una oportunidad sin precedentes para los economistas evolucionistas e institucionalistas ya que el debate se centró, en primera instancia, en la interpretación del milagro asiático (Hodgson, 2011). Los neoclásicos lo atribuyeron a que esos países se habían adherido a los principios de libre mercado y a las ventajas comparativas estáticas. La heterodoxia comenzó a plantear explicaciones que no se alejaron mucho de los aspectos microeconómicos de la innovación (Dosi & Nelson, 1994); posteriormente, surgieron enfoques que consideraron las fluctuaciones en ciclos económicos de largo plazo (Freeman & Pérez, 2000), como en las teorías schumpeterianas. Se refinó el análisis del capital humano de los desarrollistas y se consideró el papel del conocimiento y el aprendizaje (Foray, 2004). Estos enfoques se robustecieron y diversificaron hasta formar un mosaico analítico-conceptual más consistente. Al respecto, Rivera Ríos y Caballero destacan tres vertientes principales: a) la conceptualización sobre industrialización tardía, b) los enfoques tecnologistas y c) la nueva teoría del desarrollo (Cuadro 1.1). Lo que une a estas tendencias es que acentúan la importancia del aprendizaje tecnológico en el ascenso industrial de los tigres asiáticos (Amsden, 1992; Dosi et al., 2008; Kim, 2000).²²

La economía del desarrollo, al igual que la escuela neoclásica, toma a la economía nacional como unidad de análisis, mientras que los enfoques tecnologistas toman a la empresa (o redes de empresas). Los estudios sobre redes y cadenas globales de producción tienen una amplitud equivalente, ya que su unidad de análisis es también organizacional. El paradigma de industrialización tardía adopta el análisis nacional, pero su aplicabilidad se limita a un grupo de países considerados de “alto desempeño” (Rivera Ríos & Caballero, 2015).

Joseph Schumpeter (1912, 1934), Friedrich Hayek (1978, 1988), Richard Nelson y Sidney Winter (1982) y varios otros (Rivera Ríos & Caballero, 2015).

²² Mientras las economías de América Latina impulsaban la austeridad y la privatización, los tigres asiáticos entraban a la etapa avanzada de aprendizaje tecnológico de la mano del Estado desarrollista.

Cuadro 1.1
Corrientes teóricas heterodoxas que estudian el desarrollo económico²³

Corrientes teóricas	Raíz teórica	Autores representativos	Unidad de Análisis	Proceso determinante	Enfoque espacial	Vigencia
Economía del desarrollo	Economía clásica, keynesiana, Marx, economía del bienestar	Lewis, Rosenstein, Rodan, Nurkse	Economía Nacional	Acumulación de capital	Nacional	NO vigente
Enfoques tecnologistas	Teoría evolucionista, Schumpeter, teoría del conocimiento	Ross-Larson, Westphal, Bell-Pavitt, Bell-Albu	Empresa u organización, red de empresas y sistema de innovación	Acumulación de conocimiento	Empresarial	Vigente
Industrialización tardía, Estado desarrollista	Veblen, Weber, Gerschenkron	Amsden, Chalmers, Johnson, Wade	Sistema institucional nacional	Aprendizaje, transformación institucional	Nacional	Vigente
Tratamiento sobre cadenas y redes globales	Wallerstein, Penrose	Gereffi, Ernst	Cadenas o redes de empresas	Acumulación de conocimiento	Local o subnacional	Vigente
Teorías/ondas de crecimiento y revoluciones tecnológicas	Regulacionismo francés, Schumpeter, ciclo de vida (Vernon, Hirsch)	Carlota Pérez	Sistema mundial	Ondas mundiales de crecimiento	Inserción nacional	Vigente
Desarrollo institucional y organizacional	Economía del desarrollo, evolucionismo, Path dependence	Stiglitz, Hoff	Sistema sociopolítico nacional	Condiciones sociopolíticas del aprendizaje	Nacional	Vigente

Fuente: ajustado desde Rivera Ríos y Caballero (2015)

A partir de la adopción de enfoques tecnologistas, el proceso determinante es la acumulación de conocimiento; de ahí la prescripción a los países en vías de desarrollo: pasar de la manufactura (estructura productiva basada en procesos intensivos de mano de obra) a la mentefactura (sociedad o economía del conocimiento). A continuación, se analizan con mayor detalle los conceptos centrales de esta escuela de pensamiento: ciencia, tecnología, innovación, aprendizaje y capacidades tecnológicas.

²³ Se presentan las teorías modernas sobre el cambio tecnológico y el desarrollo.

1.3 Nociones de Ciencia y Tecnología

El progreso material es imposible sin medios que permitan transformar a la naturaleza en beneficio del hombre (Johnson, 1978). Una de las formas que el ser humano tiene para dominar su medio es la tecnología. El concepto de "tecnología" se acuñó en el siglo XIX, y no estuvo directamente asociado a la ciencia; más bien, se le identificó con la mecanización y la profesionalización de la ingeniería, especialmente durante la revolución industrial (Guajardo S., 2006).²⁴ La tecnología ha sido definida en múltiples maneras. La más formal corresponde a las raíces de las palabras griegas que la conforman: *tekno*-oficio y *logos*-discurso, es decir, el tratado de las artes y oficios en general (Mulás, 1998). En particular, la tecnología implica el uso de técnicas que involucran la aplicación de nuevos avances de la ciencia "pura"; esto es, el conocimiento científico del medio ambiente del hombre y sus propiedades, lo cual requiere de la inversión de grandes cantidades de capital (Johnson, 1978). Sin embargo, esta relación no necesariamente es secuencial, se debe recordar que los avances tecnológicos históricamente importantes del siglo XVIII y la mayor parte del XIX, el llamado periodo de la Revolución Industrial, fueron realizados por hombres prácticos, muy pocos de los cuales habían adquirido grados universitarios para certificar su estatus como creadores de tecnología (Derry & Williams, 1998; Johnson, 1978).

Después de los éxitos tecnológicos que desembocaron en el triunfo aliado, en la Segunda Guerra Mundial, la solución de los problemas sociales como alimentación, educación, salud y vivienda se relacionó con la capacidad tecnológica de cada país para aprovechar más efectivamente sus recursos naturales e insertarse en una economía global. Asimismo, se persiguió un nivel competitivo mayor respecto al resto de las naciones para colocar productos en el mercado internacional (Lara, 1998). A partir de la generalización del capitalismo a nivel global, la importancia de la tecnología, como elemento diferenciador en la competencia, adquirió mayor relevancia. Si bien esta tiene lazos de gran importancia con las ciencias, el quehacer tecnológico tiene una dinámica diferente de la del científico. Conviene distinguir ambas actividades en cuanto a su evaluación, organización y motivación, con el fin de no distorsionar una de la otra, al aplicarle criterios erróneos (Mulás, 1998).

²⁴ El concepto de tecnología se le adjudica al economista germano Johann Beckmann (1739-1811), quien acuñó el término y lo volvió materia de estudio formal. Fue profesor de Johann Heinrich Moritz von Poppe y, años más tarde, las ideas de ambos servirían de pilar fundamental para la conceptualización de tecnología en Marx.

El cuadro 1.2 establece la diferencia entre el desarrollo científico y el desarrollo tecnológico.

Cuadro 1.2
Diferencias entre ciencia básica y ciencia aplicada

	Ciencia básica (Desarrollo científico)	Ciencia aplicada (Investigación y Desarrollo Tecnológico – IDT)
Objetivo	Avanzar en el conocimiento	Mejora en la calidad y reducción de costos en productos y servicios en el sector industrial y otros (agropecuario, salud, etc.)
Agrupamiento	por disciplinas: ciencias exactas, ciencias naturales, ciencias económicas, ciencias sociales, ciencias de la ingeniería	Por sectores productivos: siderurgia, petroquímica, electricidad, textil, telecomunicaciones, etc.
Difusión de resultados	Inmediatamente. Con el fin de que se avance en el conocimiento. En revistas especializadas en las sociedades científicas	Se mantienen confidenciales hasta que se asegura su protección por medio de patentes o programas de licenciamiento de tecnología. No se debe facilitar al competidor sin un cargo económico correspondiente
Liderada por	Investigadores especialistas en un área del conocimiento específica (unidisciplinarios)	Grupos de investigadores en diferentes disciplinas. Lo más usual es que los problemas tengan una naturaleza interdisciplinaria
Evaluación	Por pares de los propios investigadores	Por usuarios (o clientes)

Fuente: elaboración propia a partir de Mulás, 1998.

La actividad científica, entonces, se convierte en desarrollo tecnológico cuando se inserta en un mercado. Los resultados de la aplicación de ciencia al proceso productivo, en aras de reducir costos y mejorar los productos, la convierten en un elemento decisivo del crecimiento económico. En este sentido, un descubrimiento o una idea, proveniente de la ciencia básica, se puede considerar una invención, mientras que la aplicación comercial de esa invención recibe el nombre de innovación, conceptos que se abordan con mayor detalle en la siguiente sección. Existe un terreno conceptual común en la mayoría de las plataformas de CyT en América Latina y, desde luego, en México. Dichos conceptos son visibles en los documentos de política pública, programas especiales, boletines de prensa y en manifestaciones de los representantes de los centros de investigación, parques industriales o agencias de gobierno. Es de nuestro interés adentrarnos a la arqueología de dichos conceptos con el objetivo de analizar su origen y problematizar su esencia teórica.

1.4 Invención e innovación

Todo el arsenal neoclásico formalista de "progresos técnicos" "exógenos" y "endógenos", basados en "funciones de producción", se desarrolló en oposición a la distinción schumpeteriana entre invención e innovación (Katz, 1996). Es necesario distinguir ambos conceptos, aunque estén íntimamente relacionados. De acuerdo con Fagerberg, la invención se vincula a una idea nueva que implica desarrollar un nuevo producto o proceso; mientras que la innovación es la primera comercialización de dicha idea (Fagerberg, 2003). Para Carlota Pérez, la invención de un nuevo producto o proceso ocurre dentro de lo que podemos llamar la esfera tecnocientífica, allí puede quedarse para siempre. En contraste, la innovación es un hecho económico. La primera introducción comercial de una innovación la transfiere a la esfera tecnoeconómica como un hecho aislado, cuyo futuro se decidirá en el mercado (Pérez, 2003). Por lo tanto, se puede decir que innovar es un proceso que corresponde a una realidad capitalista.

Estos conceptos permanecen como un mantra en las teorías modernas del cambio tecnológico. Lo que no se menciona es que también están relacionados con las ideas desarrolladas por Marx, en el siglo XIX. En este caso, concretamente con la tasa de ganancia. El beneficio esperado determina la inversión en innovaciones. Por lo tanto, que lo técnicamente viable deba ser económicamente factible, significa que en el capitalismo se desechan todas las tecnologías que no auguran beneficios (Katz, 1996).

Apenas medio siglo después, en 1911, Joseph A. Schumpeter discutió por primera vez el término innovación en *The Theory of Economic Development. An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*. Este concepto, no obstante, tomó como referencia los trabajos de Jean B. Say sobre la función del empresario como un combinador de factores para establecer la cooperación (Guajardo S., 2006). En la visión de Schumpeter se intenta situar histórica y socialmente el co-desarrollo entre capital y tecnología. En su teoría, el capitalismo es un sistema que evoluciona, que no posee un carácter estático y por lo tanto no debe ser analizado como un fenómeno estacionario, por el contrario, todos los elementos que se mueven en el sistema están sujetos a tal evolución y cambio. La innovación y el empresario innovador (*entrepreneur*), son los factores clave en su teoría del desenvolvimiento económico:

Mis teorías pueden ser equivocadas; mis esquemas, con seguridad, no son más que una de tantas posibilidades; pero hay dos cosas de las que estoy seguro: primero, que se debe tratar al capitalismo como un proceso de evolución, y que todos sus problemas fundamentales arrancan del hecho de que es un proceso de evolución; y, segundo, que esta evolución no consiste en los efectos de los

factores externos (incluso factores políticos) sobre el proceso capitalista, ni en los efectos de un lento crecimiento del capital, de la población, etc., sino en esa especie de mutación económica, me atrevo a usar un término biológico, a la que he dado el nombre de innovación (Schumpeter, 1957, p. 10).

Schumpeter, además, empleó el término "innovación" para delinear los efectos de las transformaciones en el sistema económico, ya fuera por la introducción de un nuevo bien, la apertura de un nuevo mercado o la creación de una nueva organización de cualquier industria (Guajardo S., 2006). Esto pone de relieve la naturaleza cualitativa de cambio en el proceso de desarrollo, en contraste con los aspectos cuantitativos subyacentes del crecimiento económico.

A menudo se considera que la innovación es llevada a cabo por personal altamente capacitado en empresas intensivas en I+D, con fuertes lazos con los principales centros de excelencia en el mundo científico. Desde este punto de vista, se trata de una actividad típica del "primer mundo". No obstante, algunos autores explican que se puede observar desde una perspectiva más amplia, como un aspecto de la mayoría, si no de todas, las actividades económicas (Fagerberg et al., 2010). Incluye no solamente productos y procesos tecnológicamente nuevos, sino también mejoras en áreas tales como logística, distribución y comercialización. Además, el término también puede utilizarse para cambios que son nuevos en el contexto local, incluso si la contribución a la frontera del conocimiento global es insignificante. En este sentido, puede ser tan relevante en el mundo en desarrollo como en cualquier otro lugar (Fagerberg et al., 2010). Si bien las invenciones pueden llevarse a cabo en cualquier parte, por ejemplo, en las universidades, las innovaciones se producen principalmente en empresas de la esfera comercial.

1.5 Conocimiento y capital humano

Desde una perspectiva económica, se ha intentado caracterizar el trabajo en función de la duración de la jornada laboral y del salario. Sin embargo, hay un factor de producción que no sólo depende de la cantidad, sino también de la calidad del grado de formación y la productividad de los empleados: la experiencia y la formación intelectual de los trabajadores. Estos elementos se convierten en una de las grandes apuestas de las economías modernas.

Para Lundvall, uno de los recursos fundamentales de la economía moderna es el conocimiento (Lundvall, 2010); lo considera un elemento determinante del crecimiento y el desarrollo. A raíz de ese papel fundamental, se puede hablar de “economías basadas en el

conocimiento”:

Por economías basadas en el conocimiento quiero decir, esencialmente, economías en las que la proporción de empleos intensivos en conocimiento es alta, el peso económico de los sectores de la información es un factor determinante, y la participación del capital intangible es mayor que la del capital tangible en el stock total de capital real (Foray, 2004).

Según Freeman, el conocimiento es un proceso interactivo, y los flujos de información y de conocimiento son elementos importantes para entender el comportamiento de la empresa y de la economía (Freeman, 1994). El término economía basada en el conocimiento también permite comprender una innovación cualitativa en la organización y la conducta de la vida económica moderna. En este contexto, el éxito de las empresas y las economías nacionales depende cada vez más de la capacidad de producir y usar el conocimiento.

Mankiw ha propuesto definir el “conocimiento” como la suma total de descubrimientos tecnológicos y científicos (lo que está escrito en libros de texto, revistas académicas, sitios web, etc.), y definir el “capital humano” como la reserva de conocimiento que se ha transmitido desde esas fuentes hacia el cerebro humano a través del estudio (Mankiw, 1995). Mankiw ha trascendido aquel concepto de capital humano de Lucas (1988), al señalar que existe un límite máximo para la cantidad de capital humano que un individuo puede acumular (la vida tiene un límite temporal). Estas consideraciones sugieren que los modelos de crecimiento endógeno ya no son suficientes para explicar la economía del conocimiento, pues deberían centrarse más en la comprensión del proceso de investigación y desarrollo tecnológico que en simple la acumulación de capital humano.

1.6 Aprendizaje tecnológico

Cualquier actividad que implique la producción o el uso de un bien (o servicio) puede generar aprendizaje y, por lo tanto, producción de conocimiento (Foray, 2004). En otras palabras, en muchas actividades la producción de conocimiento no es el objetivo, pero normalmente sucede. Se reconoce como un subproducto de la actividad de producción. Aquí es donde encontramos las formas bien conocidas de "aprender haciendo" (*learning by doing*) y "aprender mediante el uso" (*learning by using*), conceptos formulados por Arrow (1962)²⁵ y Rosenberg (1982),

²⁵ Arrow sostiene la hipótesis de que el cambio técnico en general se puede atribuir a la experiencia, esto significa que es la propia actividad de producción la que da origen a problemas para los cuales se seleccionan respuestas favorables con el tiempo (Arrow, 1962).

respectivamente. Estos estudios revelaron progresivamente que este tipo de procesos ocupa un lugar esencial en la economía del conocimiento. Se hizo cada vez más evidente que ciertos tipos de aprendizaje fuertemente "motivado" y explícitamente cognitivo tenían efectos económicos que podían ir mucho más allá de la mera consecuencia de hacer mejor el trabajo repitiendo las mismas acciones. En este caso, el aprendizaje tecnológico es el proceso de construir y acumular capacidad tecnológica (Kim, 2000), concepto que se discute detalladamente a continuación.

1.7 Capacidades tecnológicas

El desarrollo de capacidades tecnológicas depende de los procesos de aprendizaje. Estas implican una actividad organizada y el ejercicio de las mismas suele ser rutinario en muchos casos. No obstante, las rutinas son los componentes básicos de las capacidades, con una naturaleza repetitiva y dependiente del contexto, aunque no son sus únicos componentes básicos (Dosi et al., 2008). El proceso de construcción de capacidades tecnológicas es esencialmente un proceso de aprendizaje y acumulación de conocimiento tecnológico (Torres, 2006). El concepto que operamos en esta investigación se basa en la definición de Kim (2000):

“La capacidad tecnológica se refiere a la capacidad de hacer un uso efectivo del conocimiento tecnológico en producción, ingeniería e innovación para mantener la competitividad en precio y calidad. Tal capacidad permite a una empresa asimilar, usar, adaptar y cambiar las tecnologías existentes (Kim, 2000, p. 11)”

Una de las principales características de este enfoque es que considera la heterogeneidad existente en el desarrollo de capacidades tecnológicas entre países desarrollados y subdesarrollados. De acuerdo con Kim, en las economías desarrolladas, se acumulan a través del “aprender investigando” (*learning by research*), lo que expande la frontera tecnológica. En contraste, en los países en desarrollo, se construyen principalmente bajo el proceso imitativo del “aprender haciendo” (*learning by doing*) (Kim, 2000).

A nivel de país, las capacidades se pueden agrupar en tres grandes apartados: inversión física, capital humano y esfuerzo tecnológico (Lall, 1992). Estas tres esferas están estrechamente interrelacionadas, de manera que dificultan la identificación de sus contribuciones por separado al desempeño nacional (Nelson, 1981), pero no siempre van de la mano. Si el capital físico se acumula sin las habilidades, el conocimiento o la tecnología necesarias para operarlo eficientemente, las capacidades tecnológicas nacionales no se desarrollarán adecuadamente; o si se crean habilidades

formales, pero no se combinan con el esfuerzo tecnológico, la eficiencia no aumentará dinámicamente (Lall, 1992).

Es con este marco conceptual que se busca entender y analizar cómo ha sido el proceso de aprendizaje tecnológico orientado a la construcción de capacidades nanotecnológicas para el sector energético en universidades, centros de I+D y empresas de México. De igual forma, buscamos comprender el papel que juegan estas instituciones en todo el proceso de aprendizaje y acumulación de las capacidades tecnológicas de las organizaciones.

Los instrumentos a través de los cuales se logra la formación de estas capacidades tienen su origen en las políticas mexicanas de I+D, que buscan articular la participación de las universidades, las empresas y el gobierno bajo esquemas de cooperación tripartita. Estos modelos permiten arreglos institucionales que promueven la formación de aprendizaje y capacidades tecnológicas. No obstante, es imprescindible detectar en qué medida lo consiguen. A continuación, se discuten tres modelos que promueven la cooperación tripartita con diferentes niveles de interacción y que se han implementado con distintos niveles de éxito en el sistema de innovación mexicano.

1.8 Modelos de cooperación Universidad-Industria-Gobierno para la innovación

La evolución de los sistemas de innovación y el conflicto actual sobre qué camino tomar en la interacción entre la academia y el sector productivo se reflejan en los diferentes arreglos institucionales de las relaciones universidad-industria-gobierno (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). Esta interrelación es la clave para el crecimiento de una economía basada en el conocimiento (Etzkowitz, 2008). A continuación, se presentan tres modelos que pueden ser aplicados a distintos contextos regionales y nacionales. La Triple Hélice ha sido utilizada explícitamente en el desarrollo de nanotecnologías en el país, en *clusters* y parques científico-tecnológicos (por ej. el Cluster de Nanotecnología de Nuevo León –CNNL, en Monterrey) Sin embargo, es necesario recalcar que en ningún caso se ha articulado en una política o iniciativa nacional; se han implementado rutas o proyectos que reflejan una visión evolucionista.

1.8.1 Triángulo de Sábato

El pensamiento de Jorge Sábato forma parte de lo que se conoce como Pensamiento Latinoamericano en Ciencia, Tecnología y Desarrollo (PLACTED),²⁶ la cual surge en diversos países de América Latina entre los años 1950-1970. Es en 1975 cuando Sábato plantea su esquema del “triángulo de las relaciones” con el objetivo de construir un instrumento para evaluar la política científico-tecnológica (figura 1.1). Al centro de sus argumentos está el papel estratégico de la tecnología en la sociedad contemporánea y su gran importancia en los más variados sectores de la realidad. Para Sábato, la acción de insertar la CyT en la trama del desarrollo significa saber dónde y cómo innovar:

La experiencia histórica demuestra que este proceso político constituye el resultado de la acción múltiple y coordinada de tres elementos fundamentales en el desarrollo de las sociedades contemporáneas; el gobierno, la estructura productiva y la infraestructura científico-tecnológica. Podemos imaginar que entre estos tres elementos se establece un sistema de relaciones que se representaría por la figura geométrica de un triángulo, en donde cada uno de ellos ocuparían sus vértices respectivos (Sábato & Botana, s/f, p. 5).

Para el argentino, la generación de una capacidad de decisión en la actividad científico-tecnológica es el resultado de un proceso deliberado de inter-relaciones entre el vértice-gobierno,²⁷ el vértice-infraestructura científico-tecnológica²⁸ y el vértice-estructura productiva.²⁹ Este proceso se establece a través del flujo de demandas que circulan en sentido vertical (inter-relaciones recíprocas entre el vértice-gobierno y los vértices-infraestructura científico-tecnológica y estructura productiva) y en sentido horizontal (inter-relaciones recíprocas entre los

²⁶ O bien, Pensamiento Latinoamericano en Ciencia, Tecnología y Sociedad (PLACTS).

²⁷ El vértice-gobierno tiene como objetivo formular o implementar políticas en el ámbito científico-tecnológico; ello requiere la capacidad para realizar una acción deliberada en este campo para formular un cuerpo de doctrina, de principios y de estrategia capaz de fijar metas posibles, cuyo logro depende de una serie de decisiones políticas, de la asignación de recursos y de la programación científico-tecnológica (Sábato & Botana, s/f, p. 6).

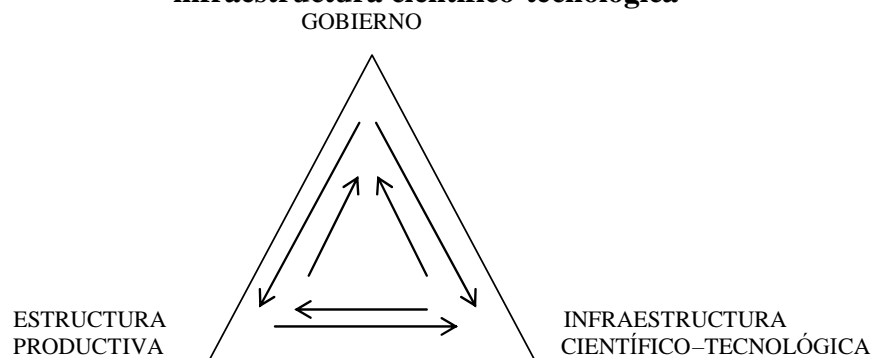
²⁸ Denominamos así al siguiente complejo de elementos articulados e interrelacionados entre sí:

- a) El sistema educativo que produce en la calidad y cantidad necesaria los hombres que protagonizan la investigación: científicos, tecnólogos, ayudantes, asistentes, operarios, administradores;
- b) Los laboratorios, institutos, centros, plantas pilotos (formados por hombres, equipos y edificios) donde se hace investigación;
- c) El sistema institucional de planificación, de promoción, de coordinación y de estímulo a la investigación (Consejos de Investigación, Academias de Ciencias, etc.).
- d) Los mecanismos jurídico-administrativos que reglan el funcionamiento de las instituciones y actividades descriptas en a), b) y c),
- e) Los recursos económicos y financieros aplicados a su funcionamiento (Sábato & Botana, s/f, p. 3-4).

²⁹ Definiremos el vértice-estructura productiva en un sentido general, como el conjunto de sectores productivos que provee los bienes y servicios que demanda una determinada sociedad (Sábato & Botana, s/f, p. 5).

vértices—infraestructura científico—tecnológica y estructura productiva) (Sábato & Botana, s/f).

Figura 1.1
Triángulo de Sábato de inter-relaciones entre el gobierno, la estructura productiva y la infraestructura científico-tecnológica



Fuente: Sábato & Botana (s/f)

En este modelo, el gobierno juega un papel central, ya que a través de sus instituciones se formulan las políticas científicas, tecnológicas e industriales y se movilizan los recursos económicos para el desarrollo y transferencia de la tecnología. El relativo éxito de este modelo estuvo enmarcado en el periodo de la estrategia de Industrialización por Sustitución de Importaciones (ISI), cuando en la región de América Latina se dio una importante discusión sobre el tema de la política científico-tecnológica en el marco de la relación ciencia-tecnología-desarrollo. Discusión que se contextualiza en planteamientos más amplios sobre subdesarrollo, dependencia, liberación y autonomía.

1.8.2 Sistema Nacional de Innovación

El enfoque de los sistemas de innovación explica la importancia de las interacciones "sistémicas" entre los diversos componentes de las invenciones, la investigación, el cambio técnico, el aprendizaje y la innovación; los sistemas nacionales de innovación ponen en primer plano el papel central del Estado como agente coordinador (Soete et al., 2010).

Han surgido muchas definiciones diferentes del Sistema Nacional de Innovación (SNI), pero el común denominador en todas ellas es la importancia de la interacción entre los agentes que participan en el proceso de innovación. Christopher Freeman, al describir la congruencia en la

sociedad japonesa, afirma que un SNI es una red de instituciones en los sectores público y privado cuyas actividades e interacciones inician, importan, modifican y difunden nuevas tecnologías (Freeman, 1987). Lundvall incluye todas las partes y aspectos de la estructura económica y la configuración institucional que inciden en el proceso de aprendizaje, así como la búsqueda y la exploración (*learning, searching and exploring*) (Lundvall, 2010). Nelson (1993), señala que el sistema es "un conjunto de instituciones cuyas interacciones determinan el desempeño innovador de las empresas nacionales" y, dentro de este esquema, las instituciones más importantes son aquellas que apoyan los esfuerzos de I+D. En el trabajo de Nelson (1993) el concepto se analiza dividido en tres partes. Primero, cuando describe el concepto de innovación, se refiere a:

Considerere el término "innovación". En este estudio, interpretamos el término ampliamente, para abarcar los procesos mediante los cuales las empresas dominan y ponen en práctica los diseños de productos y procesos de fabricación que son nuevos para ellos, e incluso para el universo o para la nación (Nelson, 1993, p. 4).

En este sentido, el innovador estrictamente schumpeteriano (la primera empresa en traer un nuevo producto al mercado) con frecuencia no es la empresa que finalmente captura la mayoría de las rentas económicas asociadas con la innovación. En segundo lugar, gran parte del interés en la capacidad innovadora está ligada a la preocupación por el desempeño económico. Esto significa que la orientación no se limita al comportamiento de las empresas que se encuentran a la vanguardia de la tecnología mundial o a las instituciones que realizan la investigación científica más avanzada. Aunque en algunos países el enfoque está en estos componentes, el análisis se vuelve más amplio cuando se analizan los factores que influyen en la formación de capacidades tecnológicas (Nelson, 1993). Luego está el término "sistema". Aunque para algunos la palabra connota algo que está diseñado y construido conscientemente, esto puede estar lejos de suceder:

El concepto es un conjunto de instituciones cuyas interacciones determinan el rendimiento innovador de las empresas nacionales. No existe la presunción de que el sistema haya sido, en cierto sentido, diseñado conscientemente, o incluso que el conjunto de instituciones involucradas trabaje sin problemas y de manera coherente. Más bien, el concepto de "sistemas" es el de un conjunto de actores institucionales que, juntos, juegan un papel importante en la influencia del desempeño innovador (Nelson, 1993, p. 4).

Finalmente, está el concepto de sistema "nacional" que, de acuerdo con Nelson, puede tener un uso demasiado amplio:

El sistema de instituciones que apoyan la innovación técnica en un campo, por ejemplo, los productos farmacéuticos, puede tener muy poca superposición con el sistema de instituciones que respaldan las innovaciones en otro campo, por ejemplo, los aviones. Por otro lado, en muchos campos de la tecnología, incluidos los productos farmacéuticos y los aviones, varias instituciones son o actúan de forma transnacional (Nelson, 1993, p. 5).

La idea central en la teoría moderna de sistemas de innovación es la noción de que, lo que aparece como innovación a nivel agregado, es el resultado de un proceso interactivo que involucra a muchos actores a nivel micro, y que muchas de estas interacciones se rigen por instituciones que no pertenecen al mercado (agencias gubernamentales, universidades y centros de investigación, instituciones de financiamiento, secretarías de Estado).

El enfoque de los SNI es particularmente apropiado para el análisis de los fenómenos en naciones o empresas individuales. Si bien se han tenido en cuenta otras fuentes, se percibía que el incremento de la innovación ocurría principalmente dentro de la empresa privada a través de diversas formas de conocimientos. Se requiere un modelo diferente de las fuentes de innovación para explicar el crecimiento discontinuo o irregular de la innovación. Surge con ello la propuesta de la Triple Hélice.

1.8.3 Triple Hélice

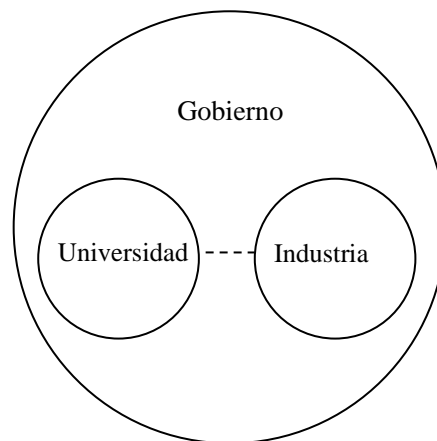
El modelo de la Triple Hélice (TH) fue desarrollado en la década de 1990 por Henry Etzkowitz (1993) y Loet Leydesdorff (1995). La TH interpreta el paso de una díada dominante industria-gobierno, en la sociedad industrial, a una creciente relación tríadica entre la universidad-industria-gobierno en lo que se denomina la “sociedad del conocimiento” o “economía basada en el conocimiento”. Esto supone que la universidad juega un importante papel como fuente de nuevo conocimiento y nueva tecnología, dada su función de principio generador de estas economías (González de la Fe, 2009). Entonces, la universidad es el principio generador de las sociedades basadas en el conocimiento; la industria sigue siendo un actor clave como *locus*³⁰ de la producción, mientras que el gobierno funge como fuente de relaciones contractuales que garantizan interacciones e intercambios estables (Etzkowitz, 2008).³¹ A partir de la interacción dinámica de sus componentes, el modelo de la TH asume que la innovación surge de la comunicación e interacción mutua entre las instituciones y actores que conforman tres palas de una hélice. La

³⁰ El modelo de la TH toma conceptos de la biología para explicar su funcionamiento. En este caso, hacen alusión a un locus (en latín, lugar), una posición fija en un cromosoma que determina la posición de un gen o de un marcador (marcador genético), para dar un lugar inamovible a la industria dentro de la producción.

³¹ El papel que juegan las universidades en el modelo de TH es de crucial importancia en todo el proceso. La función de esta entidad en una sociedad del conocimiento consiste en contribuir al desarrollo económico y social del ámbito local mediante la creación de innovaciones que tengan como base el conocimiento (Etzkowitz, 2008).

primera pala se gesta del análisis de las relaciones entre los entornos científicos y las universidades. La segunda pala son las empresas e industrias. Por su parte, los gobiernos y administraciones forman la tercera pala de la hélice. El modelo atiende a las interacciones que se presentan entre las palas y que a su vez dan origen a la innovación; es decir, se presenta el potencial para generar y desarrollar el conocimiento innovador, se incrementan las posibilidades de mercado y los recursos económicos, así como la creación y aplicación de normas e incentivos de las políticas públicas referentes a la innovación. A continuación, se presentan tres modelos de interacción Universidad-Industria-Gobierno que dieron paso a la TH.

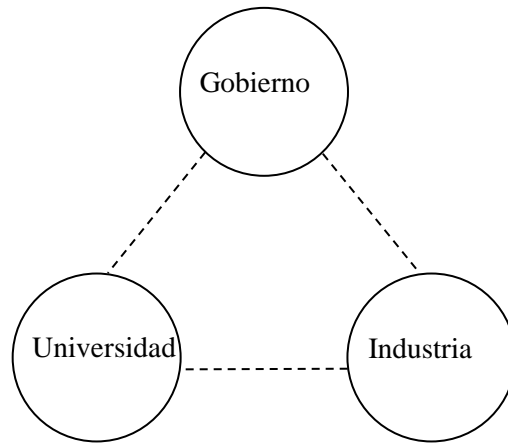
Figura 1.2
Modelo estático de relaciones Universidad-Industria-Gobierno



Fuente: Etzkowitz (2008)

En la primera configuración, el estado nacional abarca la academia y la industria y dirige las relaciones entre ellos (figura 1.2). La versión fuerte de este modelo podría encontrarse en la ex Unión Soviética y en los países de Europa del Este bajo el "socialismo existente", y se formularon versiones más débiles en las políticas de muchos países de América Latina (Etzkowitz, 2008; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). Generalmente, un régimen de triple hélice comienza cuando la universidad, la industria y el gobierno entran en una relación recíproca entre sí en la que cada uno intenta mejorar el rendimiento del otro (Etzkowitz, 2008).

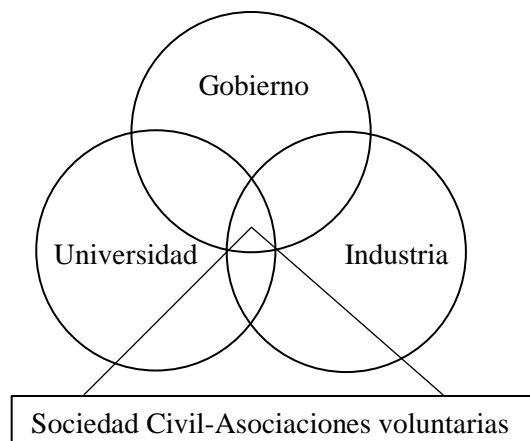
Figura 1.3
Modelo laissez faire de relaciones Universidad-Industria-Gobierno



Fuente: Etzkowitz (2008)

Un segundo modelo de política (figura 1.3) consiste en esferas institucionales separadas con fuertes fronteras que las dividen y relaciones altamente circunscritas entre las esferas (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000).

Figura 1.4
Modelo de Triple Hélice de relaciones Universidad-Industria-Gobierno



Fuente: Etzkowitz (2008)

El modelo de TH (figura 1.4) está generando una infraestructura de conocimiento en términos de esferas institucionales superpuestas, asumiendo cada una el papel de la otra, aun

cuando mantienen sus roles primarios e identidades distintas,³² y con las organizaciones híbridas que emergen en las interfaces (Etzkowitz, 2008; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). Tres esferas institucionales, públicas, privadas y académicas, que antiguamente funcionaban a distancia en las sociedades de *laissez faire*, están cada vez más entrelazadas con un patrón espiral de vínculos que surgen en varias etapas de los procesos de innovación y de formulación de políticas industriales (Etzkowitz et al., 2000). De acuerdo a Etzkowitz y Leydesdorff, la tendencia actual de los países es crear un entorno innovador consistente en *spin-offs* universitarias, iniciativas trilaterales para el desarrollo económico basado en el conocimiento y alianzas estratégicas entre empresas grandes y pequeñas, que operan en diferentes áreas y con diferentes niveles de tecnología, laboratorios del gobierno y grupos de investigación académica (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). Como veremos, todos estos elementos aparecen como propuestas explícitas en los documentos de política de CyT en México.

En el caso de la triple hélice, su perspectiva acerca del carácter histórico de los fenómenos que estudia aparece, como casi siempre en esta corriente, de un modo confuso (Kreimer, 2002). El enfoque pierde la dimensión cuando agrupa CyT como si fuesen una sola actividad: “tecnociencia”, y cuando sustituye indistintamente la política de la ciencia por política de innovación (González de la Fe, 2009). Además, no considera que la gran mayoría de universidades, especialmente las más antiguas, desarrollan sus actividades en un ambiente bastante diferente al de las universidades empresariales a las que se refiere preferentemente el modelo de la TH. El uso indiscriminado de estos conceptos se debe a la motivación central del modelo. La innovación, como introducción de invenciones al mercado, ha provocado que la actividad científica convierta en una fuente de excedente económico, a tal grado que las líneas que separan ciencia, tecnología e innovación se atenúan. Así, los centros públicos de investigación pueden realizar labores empresariales, o las empresas ejercen una fuerte influencia sobre las políticas de CyT.

³² La universidad asume el papel de la industria al estimular el desarrollo de nuevas empresas a partir de la investigación, introduciendo "la capitalización del conocimiento" como un objetivo académico. Las empresas desarrollan la capacitación a niveles cada vez más altos y comparten el conocimiento a través de empresas conjuntas, actuando un poco como las universidades. Los gobiernos actúan como capitalistas públicos de riesgo mientras continúan con sus actividades regulatorias (Etzkowitz, 2008).

1.9 Crítica a las teorías dominantes sobre Ciencia y Tecnología

La teoría evolucionista, que hoy en día se presenta como “alternativa” en el campo de la academia, evita cualquier tipo de explicación del desarrollo económico en su conjunto, evadiendo el entendimiento de las leyes o tendencias generales del desarrollo capitalista para comprender las formas concretas en que éste se presenta dentro de los distintos ámbitos nacionales (Lastra, s/f). Uno de los logros este cuerpo teórico fue reintroducir la historia en el análisis económico. Sin embargo, al estudiar todos sus fenómenos dentro del marco del sistema vigente, deja de lado que el capitalismo se desenvuelve por medio de crisis recurrentes y procesos de valorización y desvalorización del capital (Marx, 1982b, 2009). Existen similitudes en el marco epistemológico en el que se desenvuelven los ortodoxos y los evolucionistas, por no decir que utilizan los mismos fundamentos. Ambos intentan explicar el comportamiento de las empresas (o países) sin abandonar la perspectiva microeconómica y omiten el estudio de las relaciones sociales de producción que se establecen en la economía en general.

Sin embargo, como mencionamos líneas arriba, estos enfoques mantienen una estrecha relación con las ideas planteadas por Marx. Por ejemplo, al intentar hacer una distinción entre invención e innovación, los autores neoschumpeterianos argumentan que el mercado (la obtención de ganancia) es la motivación principal para realizar innovaciones. Pero el impulso principal para introducir cambios tecnológicos, según estableció Marx hace ya siglo y medio, es la plusvalía (Marx, 1982a). La automatización sirve para incrementar la porción del trabajo no remunerado que es apropiada por la clase burguesa. Con la finalidad de incrementar la ganancia, las empresas compiten a través del mejoramiento de la maquinaria y la reorganización del proceso de producción, acrecentando la extracción de plusvalía (se reduce el tiempo de trabajo necesario para la reproducción de la fuerza de trabajo, y se multiplica la plusvalía relativa) y logrando una ventaja en el corto plazo. Además, cuando la innovación se generaliza y reduce el tiempo de trabajo necesario para producir la mercancía, siempre disminuye su valor (Astarita, 2013). Por ello, en la medida en que la ciencia se aplica y aumenta la composición orgánica del capital colabora en la disminución del valor de las mercancías.

Una vez que la inversión en ciencia tiene como propósito de obtener ganancia, la división al interior de este trabajo se profundiza. Las actividades se separan en productos independientes que tienen precio. Se forman grupos y centros de investigación especializados que no tienen como

función desarrollar un producto final, sino etapas intermedias. Con ello se agudiza la profundización de la división del trabajo científico, llegando a dividirse en agencias especializadas de I+D, grupos de investigación, diseñadores e ingenieros, centros de producción industrial y bufetes de abogados para protección intelectual, entre muchos otros intermediarios. Esta fragmentación produce una separación de la ciencia y la tecnología con su función social. A medida que se separa en etapas, la evaluación de las actividades de CyT radica en su precio y no en su aplicación a la resolución de problemas sociales.

Uno de los rasgos fundamentales de los modelos mencionados es que no toman en cuenta el papel de otros agentes, como la sociedad civil (consumidores, trabajadores, Organismos No Gubernamentales (ONG's), entre otros (la cuarta pala de la hélice). En años recientes, y como alternativa a los arreglos convencionales de relaciones UIG, ha surgido el concepto de innovación responsable. El impacto negativo de las innovaciones en los individuos, las sociedades y los ecosistemas se descuidó en gran medida a favor del crecimiento económico y la creación de valor para los empresarios. El surgimiento de la innovación responsable debe entenderse, entonces, como un nuevo enfoque hacia la innovación, en el que los aspectos sociales y éticos se tienen en cuenta explícitamente y los aspectos económicos, socioculturales y medioambientales están en equilibrio (Blok & Lemmens, 2015). Sin embargo, buena parte de la literatura de innovación responsable no se concentra en problemas claros y específicos de la innovación que deben resolverse, sino en desafíos globales como el cambio climático o la pobreza.

Por otro lado, está el concepto de innovación social, donde intervienen de forma integrada elementos de la economía, la cultura, educación y democracia local. El rasgo característico es la articulación en redes socio-territoriales, consolidadas por acuerdos. La dinámica de la innovación social debe cumplir con al menos dos características: innovación social a través de la satisfacción de necesidades humanas insatisfechas o enajenadas; e innovación en las relaciones sociales entre individuos y grupos en los barrios y los territorios más amplios que los integran (Moulaert, et al., 2005). Estas teorías pasan de cómo vincular únicamente a tres actores (universidades, industria y gobierno) en la política pública a relacionar y tomar en consideración el funcionamiento integral de la sociedad como promotor de las innovaciones. Es decir, pasan de considerar una hélice de tres palas a incluirle una cuarta o hasta una quinta aspa (trabajadores y consumidores) de agentes que se ven afectados por cuestiones de orden social, cultural y educativo en su desarrollo.

1.10. Estrategia metodológica

Hemos argumentado que las nanotecnologías implican el diseño y manufactura de materiales con propiedades novedosas, lo que les permite ser aprovechados por todos los sectores económicos a lo largo de sus cadenas de valor. En el caso de la industria energética, estas tecnologías poseen la capacidad de insertarse en todas las etapas del suministro, desde la fuente primaria hasta el uso final, pasando por la captación, conversión, distribución y almacenamiento (Figura 1.5). Pueden implementarse individual o simultáneamente, y su aplicación potencia las energías fósiles disponibles y posibilitan la creación de nuevos dispositivos para aprovechar fuentes renovables.

Figura 1.5
Aplicaciones de nanotecnologías en la cadena de suministro 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	
<p>Fotovoltaica: celdas nanooptimizadas (poliméricas, colorantes, quantum dots, películas delgadas, unión múltiple, recubrimientos anti reflejantes).</p> <p>Eólica: Nanocompuestos para palas más ligeras y resistentes, nanorecubrimientos anticorrosivos para motopropulsores.</p> <p>Geotérmica: Nanorecubrimientos y compuestos para equipo pesado de perforación.</p> <p>Biomasa: optimización de la agricultura con precisión nanométrica (nanosensores, sistemas de liberación controlada y almacenamiento de plaguicidas y nutrientes)</p> <p>Energía hidráulica-mareas: Nanorecubrimientos para protección anticorrosión.</p>	<p>Membranas nano optimizada y electrodos para pilas de combustible eficientes (PEM) para aplicaciones en automóviles / electrónica móvil</p>	<p>Nanosensores (por ejemplo, magnéticos) para la gestión inteligente y flexible de rejillas capaces de gestionar fuentes de energía altamente descentralizadas.</p>	<p>Baterías: baterías de iones de litio (Li-ion) optimizados por electrodos nanoestructurados y, láminas separadoras cerámicas flexibles, con aplicación en la electrónica móvil, automóviles, gestión de cargas flexibles en redes eléctricas (a medio plazo).</p>	<p>Sistemas de iluminación energéticamente eficientes (por ejemplo, LEDs y OLEDs).</p>	
	Termoeléctrica	Transmisión de energía		<p>Supercondensadores: nanomateriales para electrodos (aerogeles de carbono, nanotubos de carbono, metal (óxidos) y electrolitos para densidades de energía más altas.</p>	Aislamiento térmico
	<p>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)).</p>	<p>Los superconductores: sistema para optimizar altas temperaturas basado en el diseño de interfaces a nanoescala para la transmisión de energía sin pérdidas.</p>	<p>Espumas y geles nanoporosos (aerogeles, espumas de polímero) para el aislamiento térmico de edificios o en procesos industriales.</p>		
	Generación de hidrógeno	<p>Nanocatalizadores y nuevos procesos para la generación de hidrógeno más eficiente (por ejemplo, fotoeléctrico, electrólisis, biofotónica).</p>	<p>Líneas eléctricas de nanotubos de carbono: cables superconductores basados en nanotubos de carbono (largo plazo).</p>	Energía química	Aire acondicionado
	<p>Nanocatalizadores y nuevos procesos para la generación de hidrógeno más eficiente (por ejemplo, fotoeléctrico, electrólisis, biofotónica).</p>		<p>Transmisión inalámbrica de energía: transmisión de energía por láser, microondas o resonancia electromagnética basada en componentes nano optimizados (a largo plazo).</p>	<p>Hidrógeno: materiales nanoporosos (organometales, hidruros metálicos) para su aplicación en micro celdas de combustible para la electrónica móvil o los automóviles (a largo plazo).</p>	<p>Gestión inteligente del flujo de luz y calor en los edificios por ventanas electrocrómicas, matrices de microespejos o reflectores.</p>
	Turbinas de gas				Construcciones ligeras

	Protección contra el calor y la corrosión de 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.	Combustible / refinación: nanocatalizadores para la producción optimizada de combustible (refinación de petróleo, desulfuración, licuefacción de carbón). Tanques de combustible: tanques de gas reducidos basados en nanocompuestos para la reducción de las emisiones de hidrocarburos.	Materiales de construcción ligera utilizando nanocompuestos (nanotubos de carbono, compuestos de matriz metálica, metales ligeros nanorecubiertos, hormigón de alto rendimiento, polímeros y sus compuestos).
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 (nanocompuestos, recubrimientos nanopartículas 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			
Nanocompuestos de blindaje contra la radiación y protección (equipo personal, contenedores) opción a largo plazo para los reactores de fusión nuclear.	Nanocompuestos para componentes superconductores en motores eléctricos (por ejemplo, en barcos).			

Fuente: Hessian Ministry of Economy, Transport, Urban and Regional Development, 2008 (traducción propia)

Con la finalidad de cumplir los objetivos de esta tesis: analizar el proceso de generación, asimilación, uso, adaptación y cambio de las nanotecnologías en el sector energético de México, a partir de los elementos propuestos por Lall (1992) (inversión física, capital humano y esfuerzo tecnológico), se recopiló y sistematizó información de los agentes (gobierno, empresas, centros de investigación y universidades) que participan en esta dinámica de innovación. Esto permitirá rastrear lo que se financia, investiga, patenta y produce respecto a nanotecnologías y aplicaciones nanohabilitadas para la energía en el país. Para ello, se diseñaron e implementaron 5 estrategias de búsqueda que recopilan información sobre:³³

1. Artículos y publicaciones
2. Financiamiento público (del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Conacyt)
3. Proyectos de investigación
4. Patentes
5. Empresas

A menos que se mencione explícitamente, en cada estrategia se implementó una búsqueda a través de las siguientes palabras clave:

*“Oils and Lubricants; Well Treatment; Coatings; Pipeline; Tooling/Drilling; Oil Exploration; Lithium-ion Battery Cathode; Rail Guided Vehicle; Automated Guided Vehicle; Power Supply; Thermoelectric generator; Fuel Cells Materials; Fuel Cell; Fuel Cell Electrolyte; Hydrogen Fuel Cell Catalyst; Fuel Cell Cathode Materials; Fuel Cell Anode Materials; PEM Membrane; Connector; Cable; Insulator Coating; Insulator; Cable Insulation; Composites; Dielectric; Monofilament; Solar Cell; Solar Shield; Solar Water Heater; Solar Charger; Inverter; Solar Pool Heater; Solar cell power plant; Solar Backpack; Solar Regulator; Solar Light System; Heat accumulating material; Wind Turbine Lubricant ; Wind Power Oil; Wind Turbine”.*³⁴

Esto permitió obtener y organizar información en 12 diferentes categorías energéticas donde ya se financian, investigan, producen y aplican nanotecnologías en el país:

1. Energía fotovoltaica,
2. Celdas de combustible,
3. Hidrógeno / Celdas de hidrógeno
4. Almacenamiento / Baterías,
5. Electricidad (generación, transmisión y conducción),
6. Energía fósil,

³³ Un mayor detalle sobre los términos de búsqueda para cada estrategia y sus combinaciones se presentan en los cuadros 1.1-1.6 del Anexo Capítulo 1.

³⁴ Los términos se presentan en inglés, debido a que las bases de datos de aplicaciones, nanomateriales, patentes y publicaciones son internacionales. Sin embargo, para el caso de las búsquedas realizadas en portales oficiales del Gobierno mexicano, estos mismos términos se utilizaron en español.

7. Biocombustibles,
8. Hidráulica,
9. Térmica,
10. Lumínica,
11. Eólica,
12. No especificada.³⁵

Para complementar de la mejor forma posible los resultados, se realizaron combinaciones de las palabras clave en cada búsqueda por categoría; y, para confirmar que efectivamente se trata de nanotecnologías aplicadas a la energía, se revisaron los títulos, *abstracts*, descripción, registro, resultados y productos en cada publicación, proyecto, patente y empresa detectada. Además, se obtuvo información de los nanomateriales mayormente utilizados en la producción de estos dispositivos (cuadros 1.1-1-6 del anexo capítulo 1). A continuación, se describe detalladamente el procedimiento de búsqueda en cada etapa.

En la primera estrategia se procedió a 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 autor adscrito a una institución mexicana y se eliminaron los registros duplicados o que no tuvieran relación con la temática de estudio.

En la segunda estrategia, para ubicar los proyectos financiados, se consultaron los proyectos otorgados por el (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) Conacyt a la I+D en NTs durante el periodo 2004-2018, ³⁶ a través de los Fondos y Apoyos dirigidos a las universidades e instituciones de educación superior públicas y particulares, centros de investigación, laboratorios, empresas públicas y privadas y demás personas que se encuentren inscritas en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (Reniecyt).³⁷ Se revisaron las convocatorias de los programas públicos

³⁵ 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.

³⁶ Sólo en los casos de Fomix y Fondos Sectoriales la información se encuentra disponible desde el 2004. Para el EFIDT sólo se han publicado resultados de los ejercicios 2017, 2018 y 2019, mientras que para el PEI la información se encuentra únicamente de 2009 a 2019.

³⁷ Para poder recibir financiamiento del Conacyt la institución o persona debe estar registrada en el RENIECYT.

destinados al crecimiento, fortalecimiento y vinculación del sector de la ciencia, la tecnología y la innovación del Conacyt:

- Fondos Sectoriales
- Fondos Mixtos (Fomix)
- Fondos Institucionales
- Apoyos Institucionales ³⁸
- Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) ³⁹
- Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología (EFIDT)⁴⁰

A partir del título, los objetivos y la información disponible de cada proyecto financiado se seleccionaron los que específicamente tuvieran relación con el sector energético y se organizaron en bases de datos que presentan el monto de recursos públicos destinados a esta área (véase anexos del capítulo 3).⁴¹

En la tercera estrategia se indagó sobre grupos que realizan proyectos de investigación acerca de nanotecnologías y energía. Para ello, se revisó el programa de Cuerpos Académicos (CA) del Programa de Desarrollo Profesional para Profesores (Prodep), de la Secretaría de Educación Pública (SEP) (<http://promep.sep.gob.mx/ca1/>).⁴² Las instituciones afiliadas al

³⁸ Este programa de financiamiento no cuenta con un padrón o lista de beneficiarios disponible en el portal de Conacyt, por lo que no figura en el apartado de resultados.

³⁹ El PEI es un programa dirigido a empresas mexicanas inscritas en el RENIECYT que realicen actividades de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en el país de manera individual o en vinculación con Instituciones de Educación Superior públicas o privadas nacionales y/o Centros e Institutos de Investigación públicos nacionales. Busca incentivar, a nivel nacional, la inversión de las empresas en actividades y proyectos relacionados mediante el otorgamiento de estímulos complementarios, de forma que estos apoyos tengan el mayor impacto posible sobre la competitividad de la economía nacional.

⁴⁰ A través de estos fondos el Conacyt interactúa con las Secretarías de Estado, los Gobiernos Estatales y las Entidades Federativas, como con las instituciones del ámbito académico y científico, las organizaciones de la sociedad civil y las empresas privadas que integran el sistema científico-tecnológico de México (Conacyt, 2019c, p. n.d.).

⁴¹ Es probable que existan otros programas o mecanismos de financiamiento para NTs aplicadas a la energía; sin embargo, debido a que la información que presenta Conacyt no está sistematizada, no fue posible capturarlos en esta investigación.

⁴² Los Cuerpos Académicos (CA) son grupos de profesores de tiempo completo que:

- “En las universidades públicas, estatales y afines comparten una o varias Líneas de Generación y Aplicación Innovadora del Conocimiento (LGAC) (investigación o estudio) en temas disciplinares o multidisciplinares, así como un conjunto de objetivos y metas académicas comunes. Adicionalmente sus integrantes atienden Programas Educativos (PE) en varios niveles para el cumplimiento cabal de las funciones institucionales.
- En las universidades politécnicas e institutos tecnológicos comparten una o varias Líneas Innovadoras de Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico (LIADT), mismas que se orientan principalmente a la asimilación, desarrollo, transferencia y mejora de tecnologías existentes, así como un conjunto de objetivos y metas académicas comunes. El CA trabaja en proyectos de investigación que atiende

programa de CA del Prodep incluyen a universidades públicas estatales y federales, politécnicas, tecnológicas, institutos tecnológicos federales, descentralizados, politécnicos y escuelas normales. Además, se realizó una búsqueda manual para ubicar a los grupos de investigación que no están inscritos en el programa de CA de Prodep. La lista comprende la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); el Instituto Politécnico Nacional (IPN); todos los centros de investigación del Conacyt; otras universidades nacionales y estatales, institutos tecnológicos públicos y las principales instituciones privadas del país.

La cuarta estrategia permitió identificar las patentes otorgadas en México por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) referentes a aplicaciones de nanotecnologías para la 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)⁴³ y el Instituto de Investigaciones Nucleares (ININ).

En la quinta estrategia identificamos a las empresas radicadas en México que fabrican productos nanotecnológicos orientados a la generación, conversión, distribución y almacenamiento de energía. El punto de partida es 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.

necesidades concretas del sector productivo y participa en programas de asesoría y consultoría a dicho sector. Adicionalmente, sus integrantes atienden los PE afines a su especialidad.

- En las universidades tecnológicas comparten una o varias LIIADT, las cuales se orientan principalmente a la asimilación, desarrollo, transferencia y mejora de tecnologías y procesos para apoyar al sector productivo y de servicios de una región en particular. También comparten objetivos y metas académicas comunes. Adicionalmente, sus integrantes atienden los PE de la institución.
- En las escuelas normales públicas comparten una o varias LGAC (investigación o estudio), en temas disciplinares o multidisciplinarios del ámbito educativo, con énfasis especial en la formación de docentes, así como un conjunto de objetivos y metas académicas comunes. Adicionalmente atienden PE para la formación de docentes en uno o en varios niveles.
- En las universidades interculturales comparten una o varias Líneas de Investigación, en temas disciplinares o multidisciplinarios en Lengua, Cultura y Desarrollo (LILCD), así como un conjunto de objetivos y metas académicas comunes. Adicionalmente atienden PE que articulan la docencia, investigación, vinculación comunitaria, difusión y divulgación del conocimiento” (Gobierno de la República, s/f, p. n.d.).

⁴³ Antes Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).

1.11 Alcances y limitaciones de la investigación

Debido a la ausencia de una estrategia nacional de nanotecnologías, la información acerca de lo que se financia, investiga, patenta y produce en México es dispersa. Por lo tanto, en el desarrollo de este trabajo los datos se recolectaron de distintas fuentes. Se recurrió a bases, documentos, reportes, registros, informes y páginas oficiales. Dentro de las dificultades que esto representa está el empate del alcance temporal y espacial. El cuadro 1.3 muestra las fechas de cobertura y alcance muestral para cada una de las fuentes (artículos y publicaciones; financiamiento, proyectos de investigación patentes y empresas).

Cuadro 1.3
Alcance de las fuentes de información

No.	Fuente	Alcance temporal	Alcance Espacio Muestral	Fuente
1	Artículos y publicaciones	2000-2019	Web of Science	https://apps.webofknowledge.com/OutboundService.do?action
2	Financiamiento	2004-2018	Fondos y apoyos Conacyt	https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos
3	Proyectos de Investigación	2002-2018		
3.1	Cuerpos Académicos	2018	Cuerpos Académicos	http://promep.sep.gob.mx/ca1/
3.2	Centros UNAM	2016-2018	Centros de investigación de la UNAM	http://www.cicctic.unam.mx/
3.3	IPN	2000-2019	Centros de investigación del IPN	https://www.ipn.mx/biblioteca/bibliotecas-ipn/centros/
3.4	CINVESTAV	2000-2019	CINVESTAV	https://www.cinvestav.mx/Investigaci%C3%B3n/L%C3%ADneas-de-investigaci%C3%B3n
3.5	Conacyt	2006-2018	Centros de Investigación Conacyt	https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/sistema-de-centros-de-investigacion/directorio-de-centros-de-investigacion-conacyt
3.6	Universidades públicas, privadas y centros de investigación particulares	2015-2019	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) Universidad de Sonora (UNISON) Instituto Tecnológico Superior Progreso Universidad Politécnica De	Revisión de la página web de cada institución

			Francisco I. Madero Universidad Tecnológica De Tula - Tepeji Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente AC Instituto Tecnológico de Hermosillo Universidad de Montemorelos	
4	Patentes	1967-2016		
4.1	WIPO	2002-2016	Patentes presentadas y concedidas a instituciones, investigadores independientes radicados en México	https://patentscope.wipo.int/search/es/result.jsf?currentNavigationRow=1&prevCurrentNavigationRow=14&office=&prevFilter=%26fq%3DCTR%3AMX&maxRec=133&listLengthOption=10
4.2	IMPI	2013-2018	Patentes, Registros de Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales	Gaceta de la propiedad industrial: https://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/principal.jsf
4.3	IMP	1967-2014	Patentes presentadas y concedidas al IMP sobre aplicaciones de nanotecnologías para el petróleo.	https://datos.gob.mx/busca/dataset/patentes-del-imp
5	Empresas	2002-2019	Empresas establecidas en México que realizan productos nanohabilitados para el sector energético.	Revisión de la página web de cada empresa

Fuente: elaboración propia

Otra dificultad es la homogenización de los términos para realizar las búsquedas. Para realizar esta investigación (cuadros 1.1-1.6 del anexo capítulo 1) los conjuntos de palabras clave se recolectaron y ajustaron tomando como referencia dos bases de datos distintas, en los sitios de NanoNature (<https://nano.nature.com/>) y StatNano (<https://statnano.com/>).

A pesar de haber agotado las estrategias de investigación, existen elementos técnicos que, por no haber coincidido con los términos de búsqueda seleccionados, han quedado fuera de este trabajo. Reconocemos que puede fortalecerse la colaboración con las ciencias duras, a fin de ampliar el espectro de búsqueda y brindar mayor precisión a los resultados. Sin embargo, también se destaca que este acercamiento deja ver los retos en materia de diseño e implementación de una estrategia nacional de nanotecnologías que destine recursos a sectores estratégicos para el desarrollo.

Conclusiones

Con el fin de la Segunda Guerra Mundial, el debate sobre el desarrollo avanzó sobre la concepción lineal del crecimiento, promovido principalmente desde las academias, agencias e instituciones estadounidenses. En términos generales, y de forma explícita, sus objetivos plantean que, al incrementar la producción material, el crecimiento derivará de forma automática en desarrollo. Sin embargo, a través de las décadas, el incremento de la desigualdad entre países (y al interior de ellos) ha revelado la heterogeneidad de sus condiciones productivas y ha logrado el reconocimiento de múltiples dimensiones que conforman el desarrollo. Uno de esos elementos es el cambio tecnológico.

Buena parte de las actuales políticas gubernamentales sobre desarrollo, ciencia, tecnología e innovación, han sido concebidas, justificadas e implementadas desde una determinada escuela de pensamiento (neoclásica) cuya validez empírica y teórica es aceptada por los grupos en el poder. La escuela neoclásica se ha convertido en el marco conceptual más aceptado para el establecimiento de lineamientos de agendas públicas en esta área. Sin embargo, a pesar de ser funcional, no significa que sea la teoría más adecuada para abordar el fenómeno; de hecho, es la que presenta más carencias explicativas. Como respuesta, las teorías del desarrollo endógeno buscaron incluir a la formación de científicos (capital humano), instituciones y gastos en I+D en el esquema de funciones de producción. Al mismo tiempo, con el fenómeno de industrialización tardía de los tigres asiáticos (encabezado por Corea del Sur), surgieron nuevos enfoques que retomaron las ideas de Schumpeter e intentaron situar histórica y socialmente la relación del capital con la tecnología.

En el desarrollo de este capítulo podemos observar un aspecto común entre los enfoques ortodoxos y los evolucionistas (heterodoxos). Ninguna de estas dos corrientes toma en cuenta el carácter social del cambio tecnológico. Al considerar al capital y el trabajo como factores de producción, la teoría neoclásica pierde de vista la distinción entre las relaciones técnicas y las relaciones sociales en el capitalismo. Mientras tanto, los enfoques evolucionistas (heterodoxos) realizan estudios descriptivos sobre los paradigmas de innovación, pero no tienen en cuenta las leyes de acumulación del actual modo de producción. Estas teorías, y los modelos que de ellas se desprenden, están montadas sobre la idea que promover el trabajo intelectual para la creación de innovaciones es la clave para el

desarrollo. Con esa finalidad, se han promovido esquemas de política donde se busca fomentar “ecosistemas de innovación” que han atribuido a las empresas la capacidad de realizar actividades de I+D, y donde las universidades deben colocar los productos de su investigación en el mercado, a través de convocatorias empresariales o gubernamentales. El Estado ha jugado un papel clave como facilitador de un ambiente adecuado para la mercantilización de la ciencia. En este caso, se deja en manos de la libre oferta y demanda la investigación y producción de tecnología que, generalmente, es una tendencia que encabezan los países desarrollados.

Por lo tanto, el gran problema no radica en integrar las ideas de los autores, o sus modelos, sino en cómo enfocar el cambio tecnológico a las necesidades en una economía que se rige por el mercado. Es decir, donde no hay forma de planificar verticalmente para incorporar la I+D a la producción y resolución de problemas sociales. A medida que una tecnología se vuelve más sofisticada exige, entre otras cosas, diferentes recursos naturales, volumen y capacitación de trabajadores, así como modalidades de expansión del mercado. Por ello, conforme el trabajo intelectual cristaliza en mercancías vendibles (patentes, etc.), esta integración se vuelve más compleja, ya que ahora se puede vender el producto de la I+D sin necesidad de aplicarlo.

Los planteamientos ortodoxos proponen la inserción de países en vías de desarrollo a esta nueva división internacional (y social) del trabajo, omitiendo que, con ello, surge también una mayor dificultad para organizarlo. Por ello, la cuestión de cómo planificar el desarrollo en una sociedad de mercado no puede quedar fuera de la discusión teórica. En respuesta, planteamos que resulta fundamental la planificación para organizar los resultados de la innovación, estableciendo los instrumentos de organización económica que permitan reorientar el cambio tecnológico hacia su aprovechamiento social.

Como veremos en los resultados de esta investigación, los resultados de la I+D de nanotecnologías para el sector energético que se realiza en México son apropiados por empresas particulares. Estas corporaciones no sólo concentran las innovaciones, sino que administran su aplicación en su afán de controlar los mercados y maximizar sus ganancias, sin importar su utilidad para satisfacer necesidades sociales.

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN EL SECTOR ENERGÉTICO

2.1 Nanotecnologías como nueva revolución tecnológica

Hemos mencionado que las nanotecnologías implican la manipulación de la materia en escala nanométrica; es decir, en dimensiones de entre 1 y 100 nanómetros (NNI, s/f; Royal Society, 2004; OECD, 2009; Ramsden, 2011, 2016). En esta escala, la materia puede exhibir características físicas, químicas, ópticas y tóxicas distintas a las de su tamaño macro. Los nanomateriales ofrecen diferentes propiedades cuánticas que pueden ser explotadas en el desarrollo de aplicaciones industriales novedosas. Prueba de ello es que ya se diseña y sintetiza una gran variedad de *buckyballs* de carbono o fullerenos; nanotubos de carbono; nanopartículas de óxidos metálicos (p. ej., dióxido de titanio); nanoarcillas (nanosílica, nanopartículas de silicio); y puntos cuánticos (*quantum dots*), que son semiconductores a nanoescala (p. ej., de seleniuro de cadmio). Estos nanomateriales han cristalizado en una amplia variedad de productos y aplicaciones comerciales: cosméticos, protectores solares; artículos deportivos (pelotas de golf más duraderas y raquetas de tenis más ligeras y fuertes); ropa y textiles anti-manchas; películas de polímeros utilizadas en pantallas para computadoras portátiles, televisores, teléfonos celulares y dispositivos digitales; recubrimientos para facilitar la limpieza de vidrios, protectores anti-rayado y anti-reflejante para anteojos y automóviles.

Existen dos enfoques básicos para la fabricación de nanomateriales, ya sea de arriba hacia abajo (*top-down*) o de abajo hacia arriba (*bottom-up*) (NNI, s/f). La técnica *top-down* reduce grandes piezas de materiales hasta la nanoescala. Este enfoque requiere mayores cantidades de materiales y puede generar desperdicio si se desechan los residuos. El enfoque de *bottom-up* crea materiales a partir de componentes a escala atómica y molecular, lo que puede llevar mucho tiempo. Los científicos están explorando el concepto de "*self-assemble*", que consiste en colocar ciertos componentes a escala molecular que se "ensamblarán" espontáneamente, de abajo hacia arriba, en estructuras ordenadas (NNI, s/f). Con ello, es posible lograr nuevas estructuras de materiales a escalas extremadamente pequeñas y conseguir propiedades específicas que pueden aplicarse a la fabricación de productos

novedosos. El cuadro 2.1 presenta algunas aplicaciones de las nanotecnologías en industrias específicas. Lejos de ser exhaustivo, permite visualizar la penetración de estas tecnologías en diferentes ramas. Nos encontramos a una nueva revolución tecnológica cuyo avance que requiere un abordaje multidisciplinario.

Cuadro 2.1
Aplicaciones de las nanotecnologías en industrias seleccionadas

Industria	Aplicación
Artículos de uso diario	Películas transparentes a nanoescala, repelentes al agua y a los residuos, anti-reflejantes, autolimpiables, resistentes a la luz ultravioleta o infrarroja, anti-empañantes, anti-microbianos en anteojos, pantallas de computadoras, cámaras, ventanas y otras superficies. Aditivos a nanoescala en materiales compuestos de polímeros para bates de béisbol, raquetas de tenis, bicicletas, cascos de motocicletas, piezas de automóviles, maletas, lo que los hace más livianos, rígidos, duraderos y resistentes
Tecnologías de la Información (TIC`s)	Memorias MRAM; nanoelectrónica; circuitos ópticos integrados; aplicación a moduladores y conmutadores ópticos; monitores LCD con grafeno. Chips de memoria flash para teléfonos inteligentes y memorias USB; recubrimientos antimicrobianos / antibacterianos en teclados y fundas de teléfonos celulares; tintas conductoras para productos electrónicos impresos para RFID / tarjetas inteligentes / envases inteligentes; pantallas flexibles para lectores de libros electrónicos.
Biotecnología	Detección de bacterias mediante nanopartículas bioconjugadas; fotosistemas para conversión de energía solar; membranas nanoporosas de alúmina. La nanoingeniería de enzimas permite la conversión de celulosa de astillas de madera, tallos de maíz y pastos en etanol. Los nanomateriales celulósicos pueden utilizarse en la electrónica, la construcción, el envasado, la alimentación, la energía, la asistencia sanitaria, la automoción y la defensa.
Medicina y farmacéutica	Nanodiagnóstico mediante <i>quantum dots</i> ; detectores de CO2 y sistemas de monitorización de función respiratoria; terapia mediante nanopartículas; liberación controlada de fármacos; medicina regenerativa; sustitutos óseos; prótesis de rodilla y cadera; modificación de sueros en medicamentos; polímeros electroactivos para su uso como músculos artificiales; sensores de ADN y antígenos; nanopartículas de oro como sondas para la detección de secuencias específicas de ácidos nucleicos, y como tratamientos potenciales para el cáncer y otras enfermedades.
Aeroespacial	Plásticos conductores eléctricos; recubrimientos para componentes sometidos a altas temperaturas de operación; materiales cerámicos cristalinos transparentes. El uso de materiales livianos y de alta resistencia habilitados con nanotecnología se pueden aplicar a casi cualquier vehículo de transporte. Por ejemplo, se ha estimado que reducir el peso de un avión comercial en un 20 por ciento podría reducir su consumo de combustible hasta en un 15 por ciento.
Textil	Tejidos con superficie nanoestructurada repelentes a la suciedad y al agua; productos textiles antimicrobianos. "Telas inteligentes" lavables y duraderas equipadas con sensores flexibles a nanoescala y dispositivos electrónicos para monitoreo de salud, captura de energía solar y recolección de energía a través del movimiento.
Cosméticos y cuidado de la piel	Protectores solares, maquillaje, lentes de contacto; las nanopartículas mejoran la estabilidad de algunos de los ingredientes (vitaminas antioxidantes, ácidos grasos, fragancias) que llevan los cosméticos; aumentan la fotosensibilidad, eficacia y la tolerancia de varios filtros ultravioletas en los protectores solares.
Construcción	Modificación de pinturas y barnices con nanopartículas; aditivos para la optimización del rendimiento cemento-hormigón; nanocompuestos poliméricos de arcilla para el reciclaje de PET; pegamentos rápidos y activados a distancia basados en nanopartículas de ferrita; vidrios orgánicos
Metal-mecánica	Tratamientos superficiales de piezas metálicas sometidas a desgaste; materiales antifricción; materiales con alta dureza para herramientas de corte; nanofiltración
Energía	Baterías de ión-litio con ánodo basado en nanopartículas de titanato de litio; pilas de combustible; celdas solares flexibles; cables que contienen nanotubos de carbono con una resistencia mucho menor que los cables de alta tensión utilizados actualmente en la red eléctrica, reduciendo así la pérdida de potencia de transmisión. Las celdas solares nanoestructuradas podrían ser más baratas de fabricar y más fáciles de instalar, ya que pueden usar procesos de fabricación similares a la impresión y pueden fabricarse en rollos flexibles en lugar de los paneles rígidos.

Fuente: elaboración propia con información de ESTIIC (2007) y NNI (s/f)

La relevancia económica de esta tecnología, que augura cambios disruptivos en la organización de la producción y en la división del trabajo, llevó a que instituciones y gobiernos comenzaran a registrar o inventariar los productos de las nanotecnologías que entraban al mercado y las empresas que los producían. Estados Unidos, Alemania, Canadá, Dinamarca, Japón, Corea del Sur y Rusia elaboran registros a través de iniciativas, agencias o inventarios públicos. A raíz de ello, un número creciente de países comenzó a considerarlas como una prioridad en sus agendas de investigación: Argentina, Azerbaiyán, Chile, Croacia, Jordania, Kazajstán, México, Marruecos, Nepal, Filipinas, Arabia Saudita, Serbia, Eslovenia, Sri Lanka y Túnez, por ejemplo. Sin embargo, el desarrollo de nanotecnologías exige una inversión sostenida. De los 14 países enumerados anteriormente, sólo Eslovenia dedica actualmente más del 1 por ciento del PIB a I+D (Banco Mundial, 2019; UNESCO, 2017).

Pero esta nueva revolución tecnológica no sólo ha atravesado los sectores económicos. También ha modificado los esquemas de trabajo intelectual y físico, trayendo consigo implicaciones sociales, éticas, legales y ambientales. En países desarrollados, la creación de agencias e iniciativas nacionales ha permitido destinar partidas especiales para atender problemas clave como la defensa nacional, salud, recursos naturales, industrias de la transformación y energía, así como etiquetado de productos e información al consumidor. Mientras que algunos países, como los Estados Unidos, continúan teniendo programas gubernamentales centralizados para coordinar las actividades de nanotecnología, la mayoría de los países ya no lo hacen. De hecho, muchos países ya no financian explícitamente la nanotecnología, aunque puede ser parte de iniciativas financiadas por diferentes programas de apoyo tecnológico. Debido a este cambio, es difícil determinar con certeza el nivel de financiamiento de nanotecnología por país o región (NNI, 2018). Los países en vías de desarrollo han optado por fomentar las nanotecnologías a través de la creación de *spin offs* y las colaboraciones universidad-industria, con el propósito de no rezagarse en esta ola de innovación. Como consecuencia de ello, se deja al libre mercado la selección de sectores a donde fluye la I+D, lo cual permite que los beneficios económicos y prácticos de la tecnología sean capturados por grupos particulares.

En este trabajo, verificamos el cumplimiento la afirmación anterior en el sector energético en México. Debido a la ausencia de una estrategia pública de nanotecnologías, que defina objetivos y sectores estratégicos, la generación de innovaciones para la energía ha

sido financiada ampliamente por el sector público; sin embargo, los resultados de la innovación no figuran en el mercado nacional. Sea por protección intelectual (patentes) o por productos en el mercado, existe una desarticulación entre la etapa más temprana de la I+D y el resultado final, lo que priva a la sociedad (que las financia con sus impuestos) de sus beneficios potenciales.

2.2 Energía y nanotecnologías

Una de las consecuencias de la adaptación del ser humano a su medio ambiente es que la dependencia energética de la humanidad, además de ser constante, es creciente (Prades, 1997). La sociedad siempre necesita energía y cada vez requiere mayores cantidades. Hemos mencionado que, antes de utilizarla, esta debe convertirse en una fuerza productiva (Debeir et al., 1991). En ello enfrentamos diferentes grados de disponibilidad. La energía primaria es aquella que se encuentra de forma abundante en la naturaleza, pero que no puede aprovecharse hasta ser transformada física o químicamente para su uso secundario o final. Proviene de fuentes como el sol, el viento, las mareas, la geotermia (calor de la tierra), el petróleo, carbón y gas natural. Una vez que se transforma y se convierte en electricidad, gas licuado o diésel refinado, podemos hablar de energía secundaria; esta debe ser almacenada y transportada por las redes de distribución hasta las centrales de abastecimiento. Cuando el usuario la recibe y aprovecha en forma de energía mecánica, lumínica o calórica (el movimiento de un auto o la luz de un foco), se considera el uso final.⁴⁴ Los combustibles fósiles tardan miles de años en regenerarse, por lo que se consideran no renovables. Pero el agua, el sol y el viento están casi siempre disponibles en la naturaleza y pueden reponerse a un ritmo igual o superior al que son consumidos; por lo tanto, son fuentes renovables de energía.

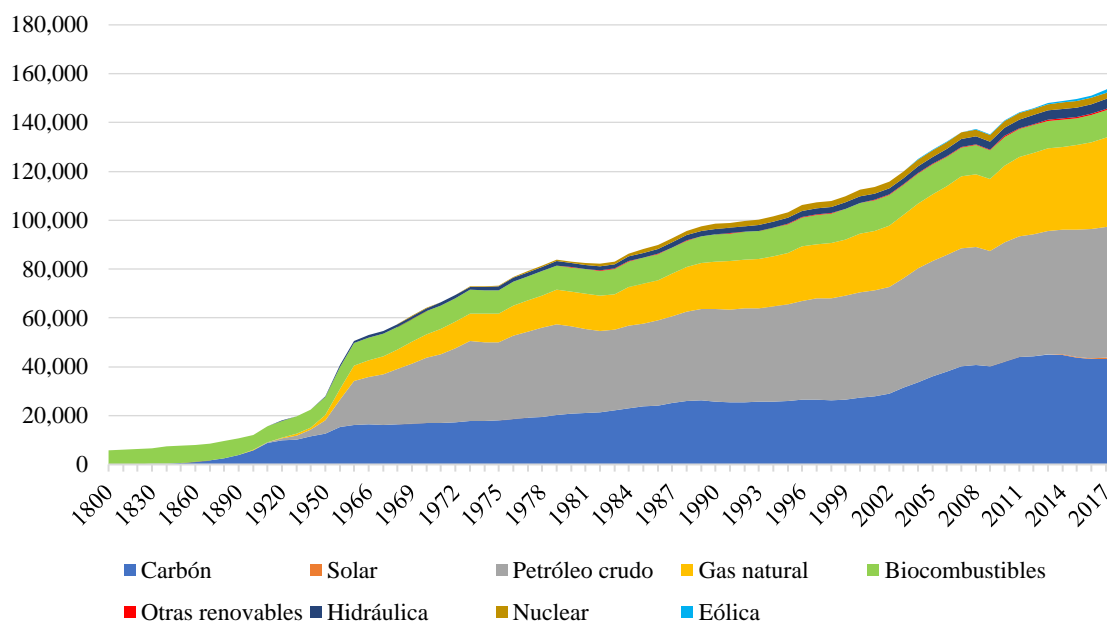
La forma en que los humanos explotan los recursos para cubrir sus necesidades energéticas desempeña un papel importante en la configuración de las relaciones sociales. Por ejemplo, previo a la era de los hidrocarburos, el poder social para transformar la

⁴⁴ Existe la posibilidad de que algunas energías primarias pasen directamente a un uso final, como el gas o el carbón para su uso en calefacción o iluminación.

naturaleza dependía de los músculos humanos y animales. Esto impuso severas restricciones en la escala y el alcance de la productividad del trabajo. La revolución industrial del siglo XIX, o más concretamente, la "revolución termoindustrial", selló decisivamente la relación entre energía y desarrollo económico capitalista moderno (Carbonnier and Grinevald, 2011). Cuando surgió la máquina de vapor, la energía ya no se centraba en el cuerpo o la fuerza muscular, sino en las máquinas. El trabajo, en consecuencia, fue "liberado" al pasar de fuerza física pura a trabajo potenciado, lo que además provocó una división del trabajo más compleja (Huber, 2009).

En términos históricos, el capitalismo aceleró la generalización social de la máquina en los sistemas de producción. A partir de ese momento, el sistema fue empujado hacia un avance constante, incrementando el requerimiento energético a un ritmo persistente y duradero (Keefer, 2010); pero, además, la energía debe cumplir con un requisito básico de rentabilidad económica: la potencia resultante de su uso final debe ser mayor a la inversión requerida (técnica y financiera) para obtenerla. El petróleo y los combustibles fósiles cumplen con este lineamiento; por ello, Huber (2009) reconoce al capitalismo como el “modo fósil de producción” por excelencia. No podemos hablar de capitalismo sin considerar al petróleo, gas natural y carbón en la producción. Estos hidrocarburos han sido las fuentes energéticas primarias más utilizadas en el mundo durante el siglo XX y lo que va del XXI (gráfico 2.1).

Gráfico 2.1
Consumo mundial de energía primaria [terawatts-hora (TWh)⁴⁵ por año]



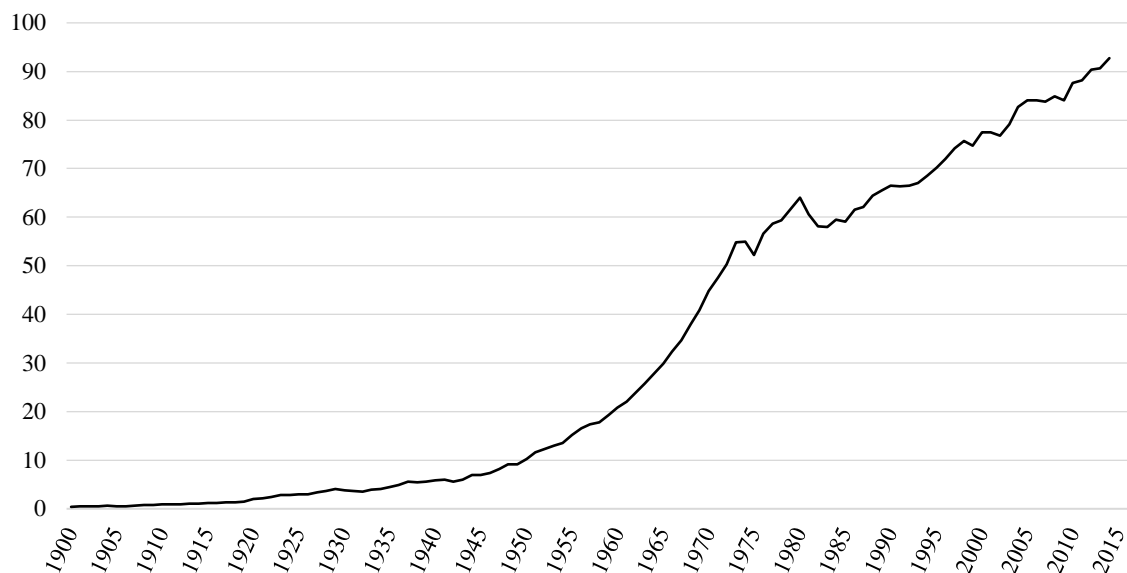
Fuente: Smil (2017) & BP (2018)

Sin embargo, al tratarse de un recurso no renovable, la preocupación por su agotamiento ha sido materia de estudio desde mediados del siglo XX. En el 2000, Scientific American publicó un artículo titulado "El fin del petróleo barato", de Colin Campbell y Jean Laherrère, una reconstrucción del modelo hecho por Marion King Hubbert en 1956, donde asumió que la producción de petróleo sigue una curva simétrica con forma de campana y que la producción comenzaría a decaer alrededor de la década de 2000. Campbell y Laherrère llegaron a resultado similares, argumentando que en 2004-2005 llegaría un descenso en la producción mundial de petróleo.

Hoy, por el contrario, los hidrocarburos aún representan más del 80 por ciento de la demanda de energía primaria mundial (IEA, 2016), y nos aproximamos con bastante velocidad a una producción que podría superar los 100 millones de barriles diarios de petróleo (mbdp) (Gráfico 2.2).

⁴⁵ El watt-hora (Wh) se usa para expresar la cantidad de energía, no de potencia, que se puede generar o utilizar en una hora.

Gráfico 2.2
Producción mundial de petróleo 1900-2015 (millones de barriles diarios)



Fuente: The Shift Project Data Portal (s/f)

La explicación a esto parece encontrarse, a primera vista, en el componente tecnológico. Los modelos de Hubbert y de Campbell y Laherrère no estaban equivocados (en la teoría); sin embargo, no tomaron en cuenta las reservas de petróleo no convencional (Bardi, 2019), que gracias tecnologías como la hidrodesulfuración, la perforación horizontal y el *fracking* (fracturamiento hidráulico) pueden aprovecharse con un rendimiento aceptable.⁴⁶ Debido a la explotación de campos no convencionales, la demanda mundial de petróleo se sostiene y se mantiene al alza. En ello, la tecnología ha sido una herramienta clave, al mejorar las formas para obtener hidrocarburos de aceites cada vez más difíciles de refinar y procesar. Los efectos de la revolución del petróleo no convencional y el gas *shale* en los Estados Unidos continúan impactando en los mercados energéticos internacionales, lo que nos recuerda que la innovación y la reducción de costos no son exclusivos de las tecnologías de energía renovable (IEA, 2016).

⁴⁶ Esto trajo todo un debate sobre lo que debe entenderse exactamente como petróleo o "aceite". En los primeros tiempos de la industria, todo el petróleo se denominaba "petróleo crudo". Aún hoy, el petróleo crudo y el aceite convencional se consideran sinónimos y se definen como un aceite relativamente liviano que no se puede encontrar en los campos. Por otro lado, el petróleo o aceite "no convencional" incluye una amplia gama de sustancias, como el aceite "pesado" de alta densidad, el "aceite de aguas profundas", el "aceite polar" y todo lo que se puede convertir en un combustible líquido, desde el *shale* hasta el aceite obtenido del procesamiento del carbón (Bardi, 2019).

Pero la explotación del *shale* (expresión que refiere al petróleo y gas de esquisto) ha tenido serios cuestionamientos debido a sus impactos ambientales, siendo incluso prohibida en varios países. Tampoco existe evidencia sólida para demostrar que la demanda mundial de hidrocarburos se sostiene por la participación del *shale*. Por el contrario, podría tratarse de una actividad económica que alimenta una nueva burbuja financiera en los Estados Unidos:

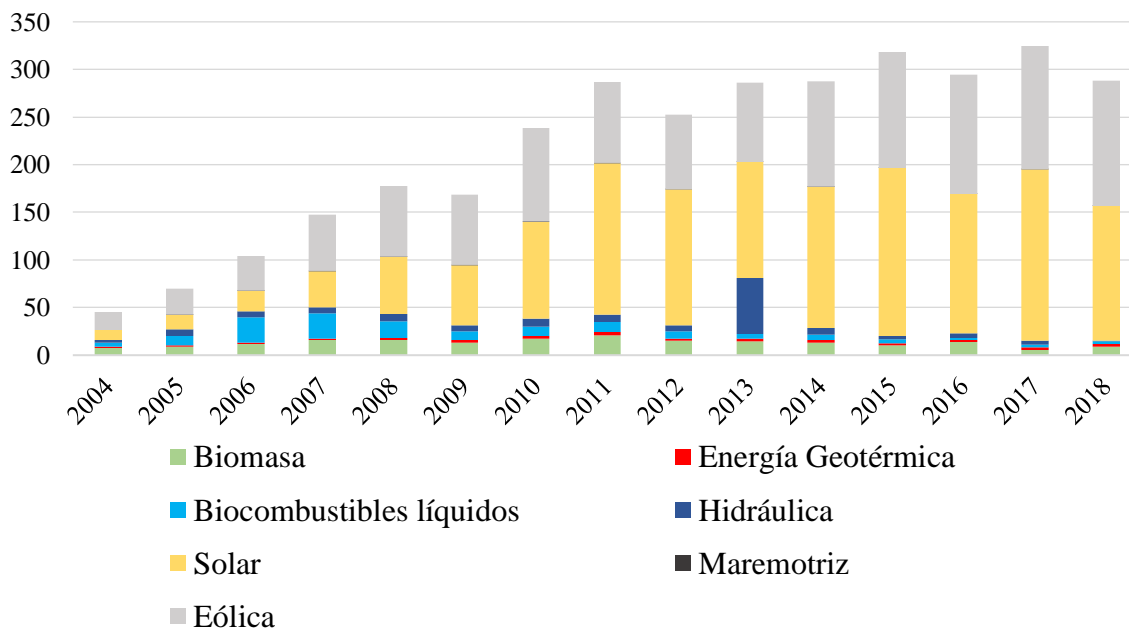
En 2011, las fusiones y adquisiciones de [empresas relacionadas con el] esquisto bituminoso representaron \$ 46,500 millones de dólares en acuerdos y se convirtieron en uno de los mayores centros de ganancias para algunos bancos de inversión de Wall Street. Esta anomalía merece un escrutinio ya que los pozos de esquisto tuvieron un rendimiento considerablemente inferior en términos de dólares durante este tiempo. Los analistas y los banqueros de inversión, sin embargo, surgieron como algunos de los defensores más vocales de la explotación de esquisto. Al garantizar que la producción continuara a un ritmo frenético, a pesar del bajo rendimiento del pozo (en términos de dólares), se produjo un exceso en el mercado de gas natural y los precios se llevaron a nuevos mínimos (Rogers, 2020).

Los contratos de arrendamiento, explica Rogers, fueron agrupados y se incluyeron campos de esquisto no probados de la misma forma en la que las hipotecas habían sido vendidas en paquetes cuestionables antes de la crisis económica de 2008. Para Rogers, los analistas financieros de Wall Street son los principales promotores del gas y petróleo de esquisto en los Estados Unidos. La llamada *Revolución del Shale*, según la autora, no es más que una burbuja, provocada por niveles récord de perforación y prácticas especulativas por parte de las empresas energéticas, promovidas fuertemente por los mismos bancos de inversión que fomentaron la burbuja inmobiliaria años atrás (Rogers, 2020).

Esto también se abrió un espacio para cuestionar si estos recursos pueden seguir explotándose al mismo ritmo y satisfacer con ello la creciente demanda de energía mundial. Mientras Estados Unidos (el mayor productor de combustibles fósiles) ha reducido sus importaciones de hidrocarburos, el crecimiento de Asia y economías como China e India incrementan su demanda de petróleo y gas natural. Por otro lado, la contribución de las energías renovables crece más rápido que la de cualquier otra fuente, en gran parte debido a la expansión de la eólica y solar fotovoltaica en el sector eléctrico (IEA, 2016). En la última década, estas han recibido la mayor parte de las inversiones (gráfico 2.3). Si bien la transición energética está cobrando impulso, también tiene un largo camino por recorrer. Los costos promedio de inversión en energía solar han caído entre 40 y 80 por ciento desde 2010, pero la energía solar representa apenas el 1 por ciento de la generación de electricidad en todo el

mundo. En los sectores de uso final, los combustibles y tecnologías alternativas han avanzado más lentamente: 1.3 millones de vehículos eléctricos que apenas representa alrededor del 0.1 por ciento de la flota mundial de automóviles (IEA, 2016).

Gráfico 2.3
Tendencia mundial de inversión en energías renovables 2004-2018 (miles de millones de dólares)

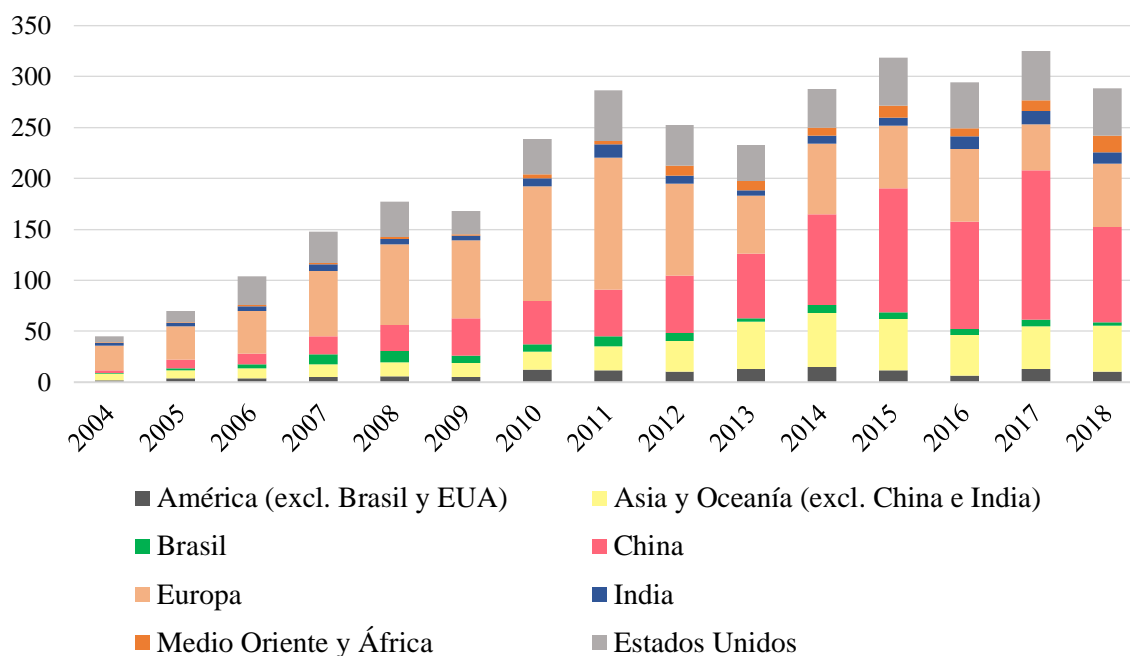


Fuente: IRENA, 2019

Si organizamos la información del gráfico 2.3 por regiones, podemos ver que Europa dominó las inversiones en la primera década del siglo XXI (Alemania y Francia han implementado fuertes políticas y proyectos que tienen como objetivo reducir sus emisiones de CO_2 a través del aprovechamiento de energías renovables), mientras que China las incrementó de forma considerable en los últimos 10 años. América (sin considerar a Brasil y los estados Unidos) apenas figura dentro del escenario mundial, a niveles parecidos a los de Medio Oriente y África (gráfico 2.4).

Gráfico 2.4

Tendencia mundial de inversión en energías renovables 2004-2018 por regiones (miles de millones de dólares)



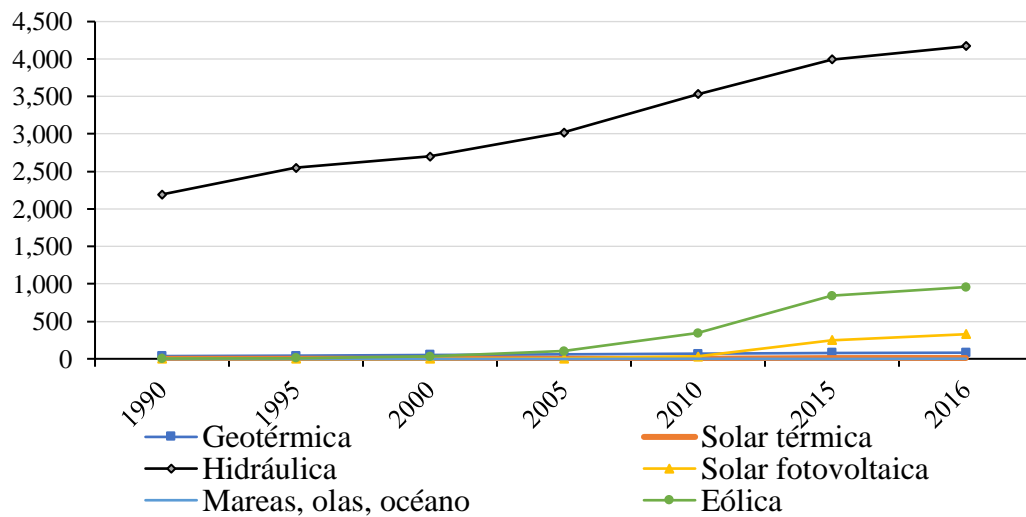
Fuente: IRENA, 2019

Pero las formas de transición energética dependerán, en términos generales, de la disponibilidad y acceso de nuevos recursos energéticos que permitan la producción industrial. Para ello, las nuevas energías deben cumplir con el requerimiento básico de eficiencia. Además, deben garantizar una potencia igual o superior a la que ofrecen los combustibles fósiles en el proceso productivo. En esta tarea, la I+D se ha centrado en tecnologías de conversión para energía secundaria. La tendencia apunta a la creación de nuevos materiales en los sistemas eléctricos. Particularmente, las celdas solares fotovoltaicas pretenden combinar una eficiencia de conversión de gran potencia, además de reducir la complejidad y los costos de fabricación:

Sigue habiendo un amplio margen para la innovación que puede mejorar aún más las tecnologías de energía renovable y reducir sus costos. Esto puede lograrse, entre otras cosas, mediante la aplicación de la ciencia de los materiales a las células solares fotovoltaicas, la integración de los vehículos eléctricos en la red de suministro eléctrico y la puesta en práctica de tecnologías digitales en los sistemas energéticos (ONU, 2018, p. 5).

Con el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías para capturar y transformar la energía solar, en los últimos 20 años se ha presentado una tendencia al alza en el uso de fuentes alternativas en la generación de electricidad (gráfico 2.5).

Gráfico 2.5
Generación de electricidad a partir de fuentes renovables a nivel mundial 1990-2016
(TWh)



Fuente: IEA, 2019

En 2015, las energías renovables representaron por primera vez más de la mitad de toda la nueva capacidad de generación eléctrica a nivel mundial (IEA, 2016). Por lo tanto, no es de sorprender que la mayor parte de las tecnologías para energía renovable estén en la fase secundaria, donde la electricidad es la vertiente más estudiada:

El sector eléctrico es el principal usuario de energía renovable, ya que casi el 60% de su utilización tiene lugar en este sector. En la actualidad, el 24% de la electricidad que se consume en todo el mundo proviene de fuentes de energía renovable: el 16% de la energía hidroeléctrica; el 5% de las energías eólica, geotérmica, solar y mareomotriz; y el 2% de la bioenergía y los residuos. Las energías renovables suministran el 9% de la demanda de calefacción en la industria y los edificios, mientras que la proporción en el transporte es mucho menor, del 3%. La mayor parte de esta última se genera a partir de biocombustibles (ONU, 2018, p. 4).

Las nanotecnologías, como herramientas habilitadoras (*enabling technologies*) y especializadas en la ciencia de materiales, son conducto de mejoras en todo el sector energético. Su aplicación incluye perfeccionamientos graduales en el corto y mediano plazo, como un uso más eficiente de fuentes convencionales y renovables o nuevos procesos para la recuperación y utilización de energía (HMETURD, 2008). Hoy en día, la mayor parte de la investigación nanotecnológica en el sector energético se ha centrado en la fuente solar. En la última década, se han publicado más de 30 estudios que investigan la aplicación de nanotecnologías para generación de este tipo de energía, superando la producción combinada

de eólica, hidroeléctrica, hidrógeno, bioenergía y geotérmica (Wylie, s/f). Uno de los primeros trabajos que habla sobre la aplicación de nanotecnologías a la energía solar es el de Huynh y colaboradores (Huynh, 2002). El artículo demuestra que, a partir del uso de nanobarras de selenuro de cadmio, en combinación con ciertos polímeros, se pueden fabricar celdas solares más eficientes. Posteriormente Bozorgan y Shafahi demostraron que la eficiencia térmica de los paneles se incrementa hasta en un 88 por ciento a partir del uso de nanofluidos (Bozorgan and Shafahi, 2015). Adicionalmente, se logra disminuir el peso y el costo de fabricación de los colectores, así como una reducción en las emisiones de dióxido de carbono.

El cambio de la matriz energética, presumiblemente, se dará a partir de la energía eléctrica. La industria está ocupada en descubrir materiales novedosos que permitan generarla, almacenarla, conducirla y utilizarla de la forma más eficiente posible. Varios países que impulsan el desarrollo de las nanotecnologías en el sector energético articulan para ello recursos humanos, financiamientos y programas educativos. En el caso de la energía, como veremos a continuación, Existen diversos productos que ya se encuentran en el mercado. El panorama internacional sobre quién se apropia de los resultados del trabajo intelectual y del mercado de estas tecnologías permitirá profundizar en el análisis de la cuestión en un país en vías de desarrollo como México.

2.3 Aplicaciones nanotecnológicas por tipo de energía

Este apartado concentra información sobre el estado que guardan las nanotecnologías aplicadas al sector energético a nivel mundial. A menos que se especifique lo contrario, para recabar la información de este capítulo se emplearon las estrategias de búsqueda con las palabras clave y en las bases de datos propuestas en la metodología. Los datos sobre nanomateriales, artículos publicados y patentes se obtuvieron de Nature Nanotechnology.⁴⁷ Este portal ofrece una de las colecciones de datos más completas y sistemáticas sobre nanomateriales, patentes y referencias bibliográficas. Los datos sobre productos se obtuvieron de la Nanotechnology Products Database, un catálogo que contiene información

⁴⁷ En: <https://nano.nature.com/>

sobre bienes nanohabilitados disponibles en el mercado por industria, aplicación, empresa productora y nanomateriales empleados en la fabricación.⁴⁸ El cuadro 2.2 presenta el número de nanomateriales, artículos publicados y patentes por aplicación en cada tipo de energía.

Cuadro 2.2
Nanomateriales, artículos y patentes por tipo de energía a nivel mundial (1980-2018)

Tipo de energía	Aplicación	Nanomateriales	Artículos publicados	Patentes
Petróleo	Industria de la refinación	184	52	2,753
Electricidad	Generación de electricidad	24,756	4,794	27,683
	Electroluminiscencia	2,802	10,577	224,648
	Electrodos	4,961	276,956	2,648,496
	Electrocátalisis	253	18,266	9,852
Solar	Celda solar	16,275	94,094	351,853
	Aplicaciones para energía solar	722	1,310	661
	Dispositivos solares	476	1,598	3,063
	Conversión de energía solar	156	12,081	10,859
	Materiales para celdas solares	116	91,351	5,591
Almacenamiento de energía	Almacenamiento de energía	17,145	70,343	178,727
	Almacenamiento	8	6,946	4,804
	Dispositivos de almacenamiento	12	34,894	159,189
	Almacenamiento de energía intermitente	7	355	8
	Batería	215	97,144	509,927
	Electrodo de batería	49	6,194	62,799
	Ánodo de batería	11	7,152	45,434
Hidrógeno	Producción de hidrógeno	319	22,125	53,094
	Almacenamiento de hidrógeno gaseoso	233	11,394	1,741
	Tasa de producción de hidrógeno	172	1,534	3,184
	Hidrógeno como catalizador de evolución	431	1,096	25
Combustible	Aplicaciones para celdas de combustible	4,287	4,853	10,682
	Dispositivos para celdas de combustible	4,287	1,277	12,833
	Celdas de combustible	4,291	50,006	218,095
	Materiales para electrodos en celdas de combustible	1,790	1,298	633

⁴⁸ En <https://statnano.com/>

	Aditivos para combustible	29	1,071	10,459
	Electrocatalizadores para combustible	30	516	366
	Catalizadores para celdas de combustible	25	1,778	8,916
Biocombustibles	Etanol	610	179,037	3,454,998
	Producción de biodiesel	13	1,281	3,054

Fuente: elaboración propia

La mayor parte de los nanomateriales utilizados en el sector se concentra en la generación de electricidad; en segundo lugar, en las tecnologías para almacenamiento y, en tercer lugar, en la energía solar. En materia de publicaciones, la energía eléctrica también concentra la mayor parte de artículos, sobre todo en materia específica de electrodos, seguido de publicaciones sobre tecnologías de almacenamiento (baterías) y celdas solares. En cuanto a patentes, los biocombustibles (concretamente la producción de etanol) tienen el mayor número de títulos de propiedad intelectual. Le siguen registros de energía eléctrica, en específico en lo referente al uso de electrodos. A continuación, organizamos y sistematizamos información sobre los países y empresas que dominan la propiedad intelectual y los productos nanohabilitados para la energía en el mercado mundial.

2.4 Empresas, productos y propiedad intelectual

Se revisaron las patentes disponibles en el registro de Nature Nanotechnology y la World Intellectual Property Organization (WIPO), entre 1980 y 2018, utilizando los términos de búsqueda propuestos en la metodología. Se consultaron los resultados por jurisdicción (la oficina que obtuvo la patente). Respecto a las patentes por tipo de energía, China, Japón y los Estados Unidos dominan la mayor parte de la protección intelectual de nanomateriales, nanodispositivos, métodos, productos y sistemas aplicados a la energía. A continuación, se presentan los resultados y sistematización de la búsqueda por tipo de energía.

2.4.1 Petróleo

En el caso del petróleo, se detectaron 2,753 patentes en la industria de la refinación. China concentra el 55 por ciento del total (1524). Le sigue Japón con el 10 por ciento (285) y los

Estados Unidos con 8 por ciento (212). México tiene 5 títulos, pero no aparece en el cuadro 2.3, que únicamente muestra los 10 países que más patentan sobre el tema.

Cuadro 2.3
Patentes de nanotecnologías aplicadas al petróleo – industria de la refinación 1980-2018 (primeros 10 lugares)

China	1,524
Japón	285
Estados Unidos	212
Rusia	164
Oficina Europea de Patentes	126
OMPI	90
Corea	71
Canadá	50
Taiwán	48
Australia	41
Total	2,611

Fuente: elaboración propia

Estos países concentran el 94.8 por ciento (2,611) de todas las patentes para el petróleo. China, Japón y Estados Unidos encabezan la lista. Estos países también concentran la mayor parte de productos en el mercado. En esta industria se han desarrollado nanomateriales absorbentes, catalizadores, solventes, inhibidores y sensores para aumentar el rendimiento de las perforaciones, mejorar la tasa de recuperación y obtener un análisis en tiempo real sobre las características del fluido. Se utiliza óxido de silicio, dióxido de titanio y óxido de zinc, lo que genera resistencia a la abrasión y a la corrosión, alta relación resistencia-peso, mayor conductividad térmica y baja reactividad química.

Actualmente existen 290 productos en 113 compañías de 26 países, divididos en seis categorías (recubrimientos, exploración, aceites y lubricantes, tuberías, herramientas para perforación y tratamiento de pozos) (Cuadro 2.4). Estados Unidos, Rusia, Canadá y China resaltan son los principales productores y vendedores.

Cuadro 2.4
Productos nanohabilitados para la industria petrolera por país

Recubrimientos		Exploración		Aceites y lubricantes		Tuberías		Herramientas/perforación		Tratamiento de pozos	
Estados Unidos	20	Estados Unidos	7	Estados Unidos	73	Rusia	21	Estados Unidos	5	Estados Unidos	17
Rusia	6	Canadá	2	Reino Unido	35	Estados Unidos	3	Irlanda	1	Irán	6
Canadá	5	China	2	Singapur	13	Suiza	1	Rusia	1	China	4
Alemania	5	Rusia	2	Rusia	13	Indonesia	1			Reino Unido	2
Holanda	2	Suecia	1	China	8	Irán	1			Alemania	2
Singapur	1	Japón	1	Austria	6					Indonesia	1
Corea	1	Irán	1	Australia	5					Canadá	1
Irán	1			Alemania	5					Corea	1
Egipto	1			México	5					Rusia	1
				Nueva Zelanda	3					India	1
				Irán	3						
				Tailandia	3						
				Malasia	3						
				Indonesia	1						
				Canadá	1						
				España	1						
				Lituania	1						
				Taiwán	1						
				Suecia	1						

Fuente: elaboración propia

En el área de recubrimientos lideran, por número de productos en el mercado: Nanolux Global Inc. (Canadá) y Aerogel Technologies, LLC (Estados Unidos), con 5 cada una; le siguen SilcoTek Driving Innovation (Estados Unidos) y Arset LLC (Rusia), con 3 productos por empresa; Nanocoating (Holanda), Tesla NanoCoatings (Estados Unidos) y Himipex Oil (Alemania) con 2 productos respectivamente.⁴⁹

⁴⁹ Energy Coatings LLC (Estados Unidos); FTS International (Estados Unidos); Nanovere Technologies, LLC. (Estados Unidos); Skyspring Oil and Gas Services (Estados Unidos); Flotek Industries (Estados Unidos); Industrial Nanotech, Inc. (Estados Unidos); Nanovapor (Estados Unidos); Ener-Corr Solutions (Estados Unidos); Thermablok, Inc. (Estados Unidos); WRAP Resources Asia Pacific (Singapur); JIOS Aerogel Corporation (Corea); VM-Project Ltd. (Rusia); O3 GROUP (Rusia); Volgograd Innovation Resources (Rusia);

En exploración, la estadounidense Amf nano tiene 7 productos; su más cercano seguidor es la empresa china Xerafy (2). Otras empresas como NanoHygienics Inc. (Canadá); AlumCas (Canadá); Center for Nanotechnology (Rusia); Advanced Magnetic Technologies & Consulting Group (Rusia); MIP Technologies AB (Suecia); Green Science Alliance Co. (Japón), e ILYA Science and Technology Development Co. (Irán) cuentan con un producto, cada una.

En aceites y lubricantes, Millers Oils Ltd. (Reino Unido) lidera con 22 productos a la venta; le siguen AMSOIL Inc. (Estados Unidos), 15; Green Energy Innovations Inc. (Estados Unidos), 13; Putoline Oil (Reino Unido), 13; Donaldson Company Inc. (Estados Unidos), 12; NanoMaterials Technology (Singapur), 10; ARCHOIL (Estados Unidos), 7; Zhengzhou Dongshen Petrochemical Technology Co., Ltd (China), 7; NNT BORPOWER GMBH (Austria), 6; Nano Grease (Rusia), 6; NanoProMT (Estados Unidos), 5.⁵⁰

En el área de tuberías y oleoductos, el dominio del mercado lo tiene la empresa Chelyabinsk Pipe-Rolling Plant (Rusia), con 15 productos. Le sigue, con un número considerablemente menor, la estadounidense NanoSteel (2) y otro grupo de empresas mayoritariamente rusas que tienen únicamente un producto.⁵¹ Chelyabinsk obtuvo en 2016, junto con otras grandes compañías europeas, contratos para proveer de tuberías al proyecto

Postnova Analytics GmbH (Alemania); Percenta Nanotechnology (Alemania); NANOCRAFT (Alemania); Vakonesh Sanate Part (Irán); PROKEM (Egipto), y Green Earth Technologies (Estados Unidos) cuentan únicamente con un producto cada una.

⁵⁰ Con 4 productos: NanoSave N1 (Estados Unidos); NanoProtech Asia (Rusia); Victoria Lub Pty Ltd. (Australia). Con 3 productos: Tektite Industries (Estados Unidos); Development Manufacturing Co. Ltd. (Tailandia); PROLUB Sintec Lubricant (México); All Season Synergy Sdn Bhd. (Malaysia). Con 2 productos: Green Earth Technologies (Estados Unidos); Nano-Oil (Estados Unidos); XADO (Nueva Zelanda); Nanomech (Estados Unidos); Roar Lubricant Singapore Pte. Ltd. (Singapur); Nano Materials & Processes Inc. (Estados Unidos); Global Nano Additives (México); Rewitec (Alemania), y StClaire (Estados Unidos). Con 1 producto: NanoTech Lubricants (Estados Unidos); Skyspring Oil and Gas Services (Estados Unidos); Curve Oil and Gas (Indonesia); Pyro Products Ltd. (Nueva Zelanda); Binder Science LLC (Estados Unidos); Jinzhou Runda Chemical Co., Ltd. (China); Combustion Technologies USA (Estados Unidos); Cealtec Products Inc. (Canadá); TECNAN Tecnología Navarra de Nanoproductos S.L. (España); VMPAUTO LLC (Rusia); PRO-TEC BALTIJA (Lituania); XSnano fuel additive (Australia); Tabernacle (Auto) Services Pte. Ltd. (Singapur); LIQUI MOLY GmbH (Alemania); Nano Ravankar Iranian; Modern Technologies of Synthesis (Rusia); AVTOSTANKOPROM Ltd. (Rusia); TITAN Technology Limited (Taiwan); Tehran Uranus paint Co. (Irán); Pardis Chemistry Bakhtar (Irán); Graphmatech AB (Suecia); Feldten Marine (Alemania); REMA TIP TOP (Alemania).

⁵¹ CCH Global Consulting (Estados Unidos); SFC KOENIG AG (Suiza); Pipeline Coating and Technologies (Rusia); Gazprom StroyTEK Salavat (Rusia); ETERNO (Rusia); Arset LLC (Rusia); Composite Pipes JSC (Rusia); RAM LLC (Rusia); Nano Ceramic Indonesia (Indonesia) y Aracoat (Irán) tienen un producto, respectivamente.

Nord Stream 2, una de las obras más importantes en materia energética del mundo, que busca proveer gas natural de manera constante a la Unión Europea, desde Rusia. La ruta atravesará las aguas territoriales de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de cinco países, incluidos Rusia, Finlandia, Suecia, Dinamarca y Alemania (Zogopoulos, 2019). Destacamos el aspecto geopolítico que reviste esta obra. El transporte autónomo de gas natural para el continente europeo permite la autosuficiencia energética; sin embargo, a pesar de desvincularse de las empresas estadounidenses, el gas sigue captado, transportado y vendido por un grupo de empresas y conglomerados europeos (Gazprom es el principal contribuyente a la inversión, y el resto será financiado por Engie, OMV, Royal Dutch Shell, Uniper y Wintershall).

En herramientas/perforación, lidera la estadounidense California Nanotechnologies (Calnano), con 4 productos. Le siguen NanoDiamond Products (Irlanda); Nano Materials & Processes, Inc. (Estados Unidos); Modern Technologies of Synthesis (Rusia), con 1 producto, respectivamente.

En tratamiento de pozos, las empresas estadounidenses NYACOL® Nano Technologies y QuantumSphere, Inc., tienen 5 productos cada una. Le siguen la iraní Spadana Nano Pars Co. (4); Flotek Industries (Estados Unidos), 3, y FCC Inc. (China), 2.⁵²

Sin embargo, Se espera que la participación de las energías renovables para satisfacer la demanda mundial de energía crezca un quinto en los próximos cinco años para alcanzar el 12,4 por ciento en 2023 (Biro, 2019). Las energías renovables tendrán el crecimiento más rápido en el sector de la electricidad, proporcionando casi el 30 por ciento de la demanda de energía en 2023, frente al 24 por ciento en 2017 (Biro, 2019). China y Estados Unidos sostienen una competencia por la hegemonía económica mundial, y esto desde luego incide en el desarrollo de innovaciones tecnológicas en ambos países. Las nanotecnologías no son la excepción y, dadas sus políticas nacionales de fomento a la I+D de estas herramientas, han podido insertarlas en sectores estratégicos para el desarrollo, en este caso la energía.

⁵² Baker Hughes (Estados Unidos); Clear Solutions International (Reino Unido); Engineered nanoproducs Germany (Alemania); Graphene Nanochem plc. (Reino Unido); Curve Oil and Gas (Indonesia); MemPro Materials (Estados Unidos); Binder Science LLC (Estados Unidos); Nanolux Global Inc. (Canadá); JIOS Aerogel Corporation (Corea); Jinzhou Runda Chemical Co., Ltd. (China); METACLAY JSC (Rusia); EPG AG (Alemania); Force Chem Technologies (Estados Unidos); Chongqing ChangFeng Chemical (China); OREN HYDROCARBONS (India); Petro Pajooan Nano Gostar (Irán); Kharazmi Technology Development (Irán) con un producto, respectivamente.

Tanto China como Estados Unidos han otorgado financiamiento público para la I+D e incentivado la participación privada. Sus estrategias consistieron en otorgar fuertes apoyos gubernamentales y del sector privado a la I+D en nanotecnología. Mientras que los Estados Unidos puso en marcha su Iniciativa Nacional de Nanotecnología, en 2000, y el gobierno chino creó varias incubadoras e instituciones especializadas como el Centro Nacional de Nanociencia y Tecnología de China en Beijing, el Centro Estatal de Investigación de Ingeniería para Nanotecnología y Aplicaciones en Shanghai, el Instituto Nacional de Nanotecnología e Ingeniería en Tianjin, el Instituto Internacional de Nanosistemas Zhejiang-California y la Incubadora Internacional de Innovación de Nanotecnología, en Suzhou (Dong et al., 2016). Hoy, muchos de los semiconductores nanohabilitados provienen de China y el país domina en el área de los artículos académicos más citados; dieciocho de los veinte académicos más referidos en la materia son de origen chino (Dong et al., 2016). En definitiva, la batalla por el control del mercado nanoenergético a nivel mundial tiene dos protagonistas: China y Estados Unidos.

2.4.2 Electricidad

En electricidad se detectaron 2,910,679 patentes, entre 1980 y 2018, divididas en cuatro grupos: Generación (27,683 patentes), Electroluminiscencia (224,648 patentes), Electroodos (2,648,496 patentes) y Electrocatálisis (9,852 patentes). El cuadro 2.5 muestra los 10 países con el mayor número de patentes en el área.

Cuadro 2.5
Patentes de nanotecnologías aplicadas a la electricidad 1980-2018 (primeros 10 lugares)

Generación		Electroluminiscencia		Electroodos		Electrocatálisis	
China	7,643	Japón	7,449	Japón	350,568	China	7,392
Estados Unidos	5,598	Estados Unidos	4,1487	Estados Unidos	292,786	Estados Unidos	931
Japón	3,030	China	3,4247	Corea	89,108	OMPI	434
Corea	3,003	Corea	3,2209	Alemania	83,308	Oficina Europea de Patentes	359
Oficina Europea de Patentes	2,429	OMPI	1,4243	Francia	31,432	Japón	195

OMPI	1,853	Taiwán	1,3367	Taiwán	26,636	Canadá	129
Taiwán	871	Oficina Europea de Patentes	1,2246	Reino Unido	25,812	Australia	66
Canadá	820	Alemania	2,614	Holanda	14,036	Corea	65
Australia	674	Canadá	792	China	13,757	Alemania	58
Alemania	452	Reino Unido	718	Suiza	11,451	India	53
Total	26,373	Total	222,372	Total	938,894	Total	9,682

Fuente: elaboración propia

Los diez primeros lugares concentran el 41 por ciento de las patentes de electricidad (1,197, 321). China, Japón y Estados Unidos encabezan los tres primeros lugares en todas las categorías. Además, estos países también lideran la oferta del mercado. Existen 499 productos nanohabilitados para la electricidad en el mercado (cuadro 2.6)

Cuadro 2.6
Productos nanohabilitados para la energía eléctrica

Light Emitting Diode (LED)		Transmisión de energía		Accesorios eléctricos		Circuitos integrados	
Estados Unidos	70	Estados Unidos	28	China	10	Estados Unidos	214
China	35	China	10	Taiwán	8	Taiwán	57
Rusia	14	Reino Unido	7	Estados Unidos	8	-	-
Corea	11	Japón	5	Alemania	4	-	-
Alemania	1	Rusia	4	Suecia	4	-	-
Irán	1	Austria	1	Rusia	3	-	-
Suecia	1	Alemania	1	-	-	-	-
Arabia Saudita	1	Finlandia	1	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia

La mayor cantidad de productos que se comercializa son circuitos integrados, en su mayoría fabricados por compañías estadounidenses. Analog Devices Inc. encabeza la lista, con 127; seguida de Texas Instruments Inc., con 60; Nuvoton Technology Corporation (Taiwán) 57, y Microsemi (Estados Unidos) (27). Los materiales diseñados para obtener y almacenar energía eléctrica están mirando hacia las fuentes renovables y, como se mencionó líneas arriba, la energía solar es una de las fuentes más investigadas.

2.4.3 Energía solar

Se detectaron 372,027 patentes de nanotecnologías aplicadas a la energía solar. Japón, Estados Unidos, China y la Unión Europea encabezan la protección intelectual en todas las categorías (Cuadro 2.7).

Cuadro 2.7
Patentes de nanotecnologías aplicadas a la energía solar 1980-2018 (primeros 10 lugares)

Celdas		Aplicaciones para energía solar		Dispositivos solares		Conversión de energía solar		Materiales para celdas solares	
Japón	82,931	Estados Unidos	262	Estados Unidos	1,273	China	4,815	Japón	1,280
China	68,599	OMPI	108	OMPI	407	Estados Unidos	2,033	Estados Unidos	1,139
Estados Unidos	55,820	Oficina Europea de Patentes	80	Oficina Europea de Patentes	356	OMPI	867	Taiwán	719
Corea	47,835	Taiwán	58	Corea	227	Japón	784	OMPI	676
OMPI	30,020	Japón	41	Japón	210	Oficina Europea de Patentes	638	Corea	587
Oficina Europea de Patentes	23,598	Corea	22	Taiwán	114	Taiwán	441	China	424
Taiwán	21,893	Canadá	18	Australia	92	Corea	434	Oficina Europea de Patentes	409
Alemania	7,000	China	16	Canadá	89	Australia	195	Alemania	98
Australia	3,320	Alemania	16	China	66	Canadá	143	Australia	76
India	2,736	Australia	10	India	59	India	124	Canadá	60
Total	343,752	Total	631	Total	2,893	Total	10,474	Total	5,468

Fuente: elaboración propia

Los primeros diez países con el mayor número registros concentran el 97.63 por ciento de las patentes (363, 218). Japón, China, Estados Unidos y la OMPI encabezan la lista. Si se toma en cuenta el número de productos en el mercado, también lo encabezan China (69); Estados Unidos (46) y Alemania (46). Le siguen en menor medida Italia (21); India (12); Suiza (10); Japón (9); Reino Unido (9); Canadá (8); Corea (7); Holanda (4); Noruega (4); Lituania (3); Australia (2); España (2); Suecia (2); e Irlanda, Hungría, Grecia, Rusia, México y Emiratos Árabes Unidos con 1 producto, respectivamente.

SunWare GmbH & Co KG, de Alemania, tiene 24 productos en esta categoría; le siguen PowerFilm Solar Inc. (Estados Unidos), 13; SolarWorld Industries GmbH (Alemania) y SUNERG Solar s.r.l. (Italia), 12 cada una; Risun Technology Co., Ltd. (China), 11; Solaronix SA (Suiza), Kaneka (Japón), Shenzhen Shine Solar Co., Ltd. (China) y Luxen Solar Energy Co., Ltd. (China), 8 respectivamente; Enecom S.r.l (Italia), LDK Solar Co., Ltd. (China) y Hosola New Energy (China), 7 productos cada una; Shenzhen Sungold Solar Co., Ltd. (China), Elecro Engineering Ltd. (Reino Unido), Kingood Electronics Int'l Co., Ltd. (China), 6 respectivamente; y en último lugar Jiangsu Runner PV Technology Co., Ltd. (China); LG Electronics Inc. (Corea) y Suzhou Quick Contact Electronics (China), con 5 productos por empresa.⁵³

2.4.4 Almacenamiento

Las tecnologías para el almacenamiento constituyen uno de los mayores desafíos para la provisión de energía. Los productos más representativos son las baterías; sin embargo, hay

⁵³ Le siguen: Innovative Solutions In Space (Holanda) 4; MiaSolé Hi-Tech Corp. (Estados Unidos) 4; WCP Solar (Estados Unidos) 4; Carmanah Technologies Corporation (Canadá) 4; NAANOSOLAR 4 (India); Europe Solar Holding (Noruega) 3; NanoAvionics (Lituania) 3; Unelko Corporation 3 (Estados Unidos); SoloPower Systems, Inc. 3 (Estados Unidos); Nuotech Solar Systems Pvt. Ltd. (India) 3; NANO SOLAR INDIA (India) 3; Hanwha Solar (Corea) 2; Triton-Nereid 2 (Estados Unidos); Sentinel Solar 2 (Canadá); AE Solar 2 (Alemania); Solargenome 2 (Italia); Sterling Power 2 (Alemania); NanoMagic 1 (Irlanda); Nanosolars 1 (Estados Unidos); Quantum Materials Corp 1 (Estados Unidos); Ningbo Jiangdong Lehan International Trade Co. Ltd., 1 (China); Solterra Renewable Technologies 1 (Estados Unidos); NanoFlex Power Corporation 1 (Estados Unidos); WINSOL 1 (Estados Unidos); Nanotech Products Pty Ltd 1 (Australia); Nanopower International LLC 1 (Estados Unidos); Nanobase Kft. 1 (Hungría); NanoSafeguard 1 (Estados Unidos); tuVapor 1 (España); QD Solar Inc. 1 (Canadá); TAIYO KOGYO CORPORATION 1 (Japón); FLISOM 1 (Suiza); Jinko Solar. 1 (China); CleanFizz SA 1 (Suiza); Olympus 1 (Estados Unidos); Heliotex™ (Estados Unidos); Blizzard Solar 1 (Canadá); Balcony Systems Solutions Ltd. 1 (Reino Unido); BFP hellas 1 (Grecia); DryWired 1 (Estados Unidos); NADICO Technologie GmbH 1 (Alemania); Halo Energy Ltd. 1 (Reino Unido); Solibro GmbH 1 (Alemania); ARL Designs LLC 1 (Estados Unidos); Joma International AS 1 (Noruega); CSG Holding Co., Ltd. 1 (China); Bluenergy USA 1 (Estados Unidos); Wuxi Suntech Power Co., Ltd. 1 (China); G24 Power Ltd 1 (Reino Unido); AVANCIS GmbH 1 (Alemania); Suzhou longo intelligent technology 1 (China); Suzhou Duchamps Advanced materials 1 (China); Nano-C 1 (Estados Unidos); Australian Energy Systems 1 (Australia); Premium Solar LLC 1 (Estados Unidos); Kaizen NanoLabs Pvt. Ltd. 1 (India); RENEWGREEN ENERGY PVT LTD 1 (India); HITEC RCD USA, Inc 1 (Estados Unidos); Solar Components LLC 1 (Estados Unidos); NanoTechCenter 1 (Rusia); PURRATIO AG 1 (Alemania); Percenta Nanotechnology 1 (Alemania); NANOCRAFT 1 (Alemania); Sgenia 1 (España); Evolution Solarinc 1 (Estados Unidos); Nano Solutions 1 (México); Swedish Algae Factory 1 (Suecia); Sol Voltaics AB 1 (Suecia); Innovative Nano Technology LLC 1 (Emiratos Árabes Unidos).

otros insumos y dispositivos nanohabilitados que logran retener energía para su consumo posterior. De ellos, hemos encontrado 960,888 registros de propiedad intelectual.

Cuadro 2.8
Patentes de nanotecnologías aplicadas al almacenamiento de energía 1980-2018
(primeros 10 lugares)

Almacenamiento de energía		Almacenamiento		Dispositivos de almacenamiento		Almacenamiento de energía intermitente	
China	68,912	China	2,536	Estados Unidos	66,191	Francia	3
Estados Unidos	33,903	Estados Unidos	579	Japón	24,271	Oficina Europea de Patentes	2
Japón	15,913	Japón	551	OMPI	16,088	OMPI	2
OMPI	14,581	OMPI	281	Oficina Europea de Patentes	13,644	Estados Unidos	1
Oficina Europea de Patentes	12,787	Corea	230	Corea	12,563	-	-
Corea	11,590	Oficina Europea de Patentes	203	Taiwán	6,325	-	-
Alemania	6,041	Taiwán	152	Alemania	4,542	-	-
Taiwán	3,645	Alemania	59	Canadá	3,568	-	-
Canadá	3,144	Canadá	46	China	3,332	-	-
Australia	2,200	Australia	36	Australia	2,649	-	-
Total	172, 716	Total	4,673	Total	153, 173	Total	8

Fuente: elaboración propia

Los diez primeros países concentran el 34.4 por ciento de las patentes de nanotecnologías aplicadas al almacenamiento (330,562), sin incluir las baterías. China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea tienen el mayor número de patentes en todas las categorías.

Uno de los mayores desafíos para las nanotecnologías desde el sector energético es el almacenamiento, por lo que las baterías ocupan un lugar esencial. El cuadro 2.9 presenta los diez primeros lugares en patentamiento de aplicaciones nanotecnológicas para baterías.

Cuadro 2.9
Patentes de nanotecnologías aplicadas al almacenamiento de energía (exclusivamente baterías) 1980-2018 (primeros 10 lugares)

Baterías		Electrodos para batería		Ánodos para batería	
Japón	122,217	China	29,723	China	37,575
Estados Unidos	117,106	Japón	13,578	Corea	2,164
China	58,128	Corea	5,334	Japón	1,679
Corea	48,559	Estados Unidos	4,810	Estados Unidos	1,398
Oficina Europea de Patentes	47,836	OMPI	3,565	OMPI	918
OMPI	44,335	Oficina Europea de Patentes	2,089	Taiwán	895
Taiwán	15,813	Taiwán	1,903	Oficina Europea de Patentes	400
Alemania	13,457	Canadá	475	Canadá	115
Canadá	11,271	Alemania	251	India	65
Australia	6,186	Australia	226	Australia	57
Total	484,908	Total	61,954	Total	45,266

Fuente: elaboración propia

Japón, China, Estados Unidos y Corea lideran la lista, donde mayoritariamente se da protección intelectual a baterías terminadas y, en menor medida, a los elementos que la conforman (electrodos y ánodos). Cuando se realiza la revisión por productos, se constata la agregación de valor sobre la cadena de nanotecnologías para estos dispositivos, pues los países que lideran en el número de patentes también lideran la oferta de baterías nanohabilitadas. China tiene 35 productos disponibles; su más cercano seguidor son los Estados Unidos, con menos de la mitad (15 productos). En un considerable rezago se encuentran Canadá, Reino Unido y Rusia con 2 productos, respectivamente. República Checa, Alemania, Liechtenstein, Australia e Irán cuentan con sólo un producto en el mercado. La empresa china Sinlion Battery Tech, Co., tiene la mayor cantidad de productos en el mercado (18). Le siguen, con menos de la mitad, Long Power Systems (Suzhou) Co., Ltd. (China) con 7 productos; MPower Technologies, Inc. (Estados Unidos), 5; A123 Systems (Estados Unidos), OptimumNano Energy Co.,Ltd. (China) y Suzhou Mewyeah Technology (China), con 4 respectivamente; Altair Nanotechnologies Inc. (Estados Unidos) y BladeICE

(Reino Unido), 2 cada una. Le siguen varias otras empresas que cuentan con sólo un producto.⁵⁴

2.4.5 Hidrógeno

En las nanotecnologías aplicadas al hidrógeno (cuadro 2.10), se encontraron 58,044 patentes. En el cuadro 2.10 se puede verificar el dominio de China, Japón y Estados Unidos.

Cuadro 2.10
Patentes de nanotecnologías aplicadas al hidrógeno 1980-2018 (primeros 10 lugares)

Producción de hidrógeno		Almacenamiento de hidrógeno		Tasa de producción de hidrógeno		Catalizador de evolución de hidrógeno	
China	18,824	Japón	451	China	1,129	Estados Unidos	10
Japón	9,621	China	338	Estados Unidos	481	China	8
Estados Unidos	7,570	Estados Unidos	332	Japón	420	Oficina Europea de Patentes	3
OMPI	3,740	Corea	176	Corea	316	OMPI (WO)	2
Oficina Europea de Patentes	3,517	OMPI	153	OMPI	234	España (ES)	1
Corea	3,119	Oficina Europea de Patentes	114	Oficina Europea de Patentes	220	Reino Unido (GB)	1
Canadá	1,574	Canadá	58	Taiwán	123	-	-
Taiwán	1,014	Taiwán	37	Canadá	105	-	-
Australia	933	India	26	Australia	55	-	-
India	680	Australia	15	India	36	-	-
Total	50,592	Total	1,700	Total	3,119	Total	25

Fuente: elaboración propia

Los diez primeros lugares concentran el 95.5 por ciento de las patentes de nanotecnologías aplicadas al hidrógeno (55,436).

⁵⁴ HE3DA Ltd. (República Checa), Envia systems (Estados Unidos), Suzhou Era Energy Technology (China), Alpha Energy Storage Solution Co., Ltd (Alemania), Suzhou Grepower Energy Technology (China), Nano One (Canadá), NanoFlowcell (Liechtenstein), Pika Energy, Inc. (Estados Unidos), Daborizer Luxury Vapor Pens (Estados Unidos), EDEN BDM Limited (Australia), RadioBoss (Estados Unidos), Saint Jean Carbon (Canadá), THERMOINTECH LLC (Rusia), Zavod AIT (Rusia) y Nanoshimi Novin Iranian (Irán).

2.4.6 Combustible

En nanotecnologías aplicadas a combustible se encontraron 237,022 patentes para celdas. El cuadro 2.11 presenta los diez países que más patentan sobre la temática.

Cuadro 2.11

Patentes de nanotecnologías aplicadas a combustibles 1980-2018 (primeros 10 lugares)

Aplicaciones para celdas de combustible		Celdas de combustible		Materiales para electrodos en celdas de combustible		Aditivo para combustible		Electro - catalizadores para combustible		Catalizadores para celdas de combustible	
Estados Unidos	3,389	Japón	54,050	Japón	246	China	2,666	Estados Unidos	129	China	2,872
OMPI	1,387	Estados Unidos	51,238	China	100	Estados Unidos	1,759	OMPI	57	Japón	2,473
Japón	1,369	Oficina Europea de Patentes	23,621	Corea	85	Japón	1,533	Japón	53	Corea	1,043
Oficina Europea de Patentes	1,332	Corea	21,317	Estados Unidos	63	Oficina Europea de Patentes	1,277	Corea	37	Estados Unidos	1,036
China	873	OMPI	21,104	OMPI	56	OMPI	751	Oficina Europea de Patentes	33	OMPI (WO)	547
Corea	585	Alemania	1,2729	Oficina Europea de Patentes	34	Canadá	556	Canadá	17	Oficina Europea de Patentes	363
Canadá	542	Canadá	8,456	Taiwán	24	Corea	515	China	17	Taiwán	164
Alemania	407	China	7,549	Canadá	12	Australia	318	Australia	10	Canadá	145
Australia	228	Taiwán	3,735	Reino Unido	4	India	247	Alemania	5	Alemania	111
Taiwán	196	Australia	3,315	Australia	2	Alemania	201	Rusia	4	India	35
Total	10,308	Total	207,114	Total	626	Total	9,823	Total	362	Total	8,789

Fuente: elaboración propia

Respecto a los productos en el mercado, lidera Estados Unidos, con 57; le siguen muy por debajo Canadá (5); Reino Unido (4); Japón (2); Alemania (1). La compañía estadounidense American Elements, tiene 25 productos; Ultracell Llc., 13; Lorad Chemical Corporation 9; Blue-O Technology INC. (Canadá), 5; Nano-tek (Reino Unido), 4; Sigma-Aldrich Co. LLC. (Estados Unidos), 4; Fuel cell materials (Estados Unidos), 4; Nano-C (Estados Unidos), 1; Tokai Carbon Co., (Japón), 1; Greenerity GmbH (Alemania), 1; Bing Energy Inc., (Estados Unidos), 1; Green Science Alliance Co., (Japón) 1.

2.4.7 Biocombustibles

Los biocombustibles son el área energética que tiene mayor número de patentes en el mundo. se detectaron 3,458,052 patentes, y los diez primeros lugares concentran el 92 por ciento de los registros (3,182,842). Convencionalmente, el biodiesel se ha producido utilizando catalizadores homogéneos, heterogéneos y enzimáticos, pero la tendencia actual de la investigación emplea el uso de nanocatalizador en el proceso debido a su ventaja sobre el catalizador que se utiliza convencionalmente. Además, el uso de nanopartículas de óxido de calcio muestra un aumento en el rendimiento de biodiesel del 93 al 96 por ciento (Akubude et al., 2019). Aunque la protección intelectual de nanotecnologías para el etanol es considerablemente mayor que la de biodiesel, los Estados Unidos concentran la mayor parte de patentes en ambas categorías (cuadro 2.12).

Cuadro 2.12
Patentes de nanotecnologías aplicadas a los biocombustibles 1980-2018 (primeros 10 lugares)

Etanol		Producción de biodiesel	
Estados Unidos	642,431	Estados Unidos	790
Japón	632,548	OMPI (WO)	389
China	614,492	Oficina Europea de Patentes	328
Oficina Europea de Patentes	398,145	Japón	302
OMPI (WO)	277,616	Corea	264
Corea	202,629	China	182
Canadá	157,666	Canadá	166
Australia	118,304	Brasil	164
Taiwán	78,984	India	136
Alemania	57,197	Australia	109
Total	3,180,012	Total	2,830

Fuente: elaboración propia

En el caso del etanol, se ha desarrollado un catalizador extraer energía eléctrica del etanol, un combustible líquido fácil de almacenar que puede generarse a partir de recursos renovables. La estructura química del catalizador consiste en una nanopartícula de oro con átomos de platino e iridio en su superficie (NNI, s/fa). La información de productos

nanohabilitados de biocombustibles no se encuentra disponible en la base de datos de StatNano.

2.4.8 Energía eólica

Junto con la fotovoltaica, la energía eólica constituye un ámbito primordial de la transición hacia el uso masivo de fuentes renovables de energía. En este caso, se encontraron 5,702 patentes otorgadas (Cuadro 2.13).⁵⁵

Cuadro 2.13
Patentes de nanotecnologías aplicadas a la energía eólica 2010-2019 (primeros 10 lugares)

China	3,435
Estados Unidos	584
Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT)	552
Corea	365
Oficina Europea de Patentes	285
Japón	177
Alemania	84
Rusia	84
Australia	68
Canadá	68

Fuente: WIPO, s/f

Los países que dominan el mercado, de acuerdo al número de productos que ofrecen, son: Estados Unidos (14); China (5); India (2) e Indonesia (1).

Los 22 productos se ofrecen en 7 empresas. NANO LUBE CORPORATION (Estados Unidos) concentra el 31.8 por ciento del mercado, con 7 productos. Le siguen Zhengzhou Dongshen Petrochemical Technology Co., Ltd (China) y Nanotech Industrial Solutions (Estados Unidos), con 5 cada una; Supernova Technologies Pvt Ltd (India), 2; y Pika Energy,

⁵⁵ En este caso, la información sobre patentes se obtuvo de la base de datos de Patent Scope, de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). Disponible en: https://patentscope.wipo.int/search/en/result.jsf?_vid=P10-K37UH3-10817

Inc. (Estados Unidos); Nanotech Indonesia (Indonesia) y Advanced Cooling Technologies, Inc. (Estados Unidos), con 1 producto, respectivamente.

Conclusiones

El reciente escenario de transición hacia fuentes de energía renovables ha llevado a la búsqueda de alternativas que sustituyan las propiedades de los hidrocarburos en el sistema productivo. En esta dinámica, resulta de importancia estratégica el desarrollo de herramientas tecnológicas que permiten un mejor aprovechamiento de toda la cadena de suministro energético. Las nanotecnologías, con su carácter transversal, potencian y vuelven más eficientes todas las fuentes de energía no renovables y renovables. Estados Unidos y China compiten en nanotecnología por el control del mercado mundial en toda la cadena de suministro. A pesar del liderazgo estadounidense, la brecha se ha reducido significativamente en los últimos años y ahora se enfrenta a los crecientes financiamientos de los asiáticos. Ambos países, junto con Japón, Corea y la Unión Europea dominan la I+D en el tema; la mayor concentración de patentes de nanotecnologías aplicadas a la energía se da en las áreas de biocombustibles, electricidad y tecnologías de almacenamiento. A pesar de que México ha dedicado esfuerzos humanos y financieros a insertarse en esta dinámica, está prácticamente ausente del escenario mundial en la materia.

En el caso de los países que dominan el escenario mundial, el papel de la política pública de CyT resulta fundamental. Sumado a ello, el diseño de estrategias nacionales en materia de nanotecnologías ha permitido a estos países determinar objetivos de acción a mediano y largo plazo. Se trata de esquemas donde el Estado ha direccionado los esfuerzos de la actividad científico-tecnológica (en este caso de las nanotecnologías) a la dotación de energía. México se encuentra muy lejos de los primeros lugares en la materia; sin embargo, ha promovido esquemas de participación públicos y privados para el desarrollo de estas tecnologías. A continuación, se desarrollará un análisis detallado de lo que se investiga, patenta y produce en el país.

CAPÍTULO 3. POLÍTICAS DE ENERGÍA, CIENCIA Y NANOTECNOLOGÍAS EN MÉXICO

La energía es un factor esencial para la producción. Es un asunto de seguridad nacional y una dimensión estructural de la economía que tiene repercusiones en todo el ámbito social. Los combustibles fósiles son indispensables para el transporte de personas, materias primas y mercancías. La electricidad permite el funcionamiento de hospitales, bancos y telecomunicaciones. Debido a su importancia estratégica, en México los lineamientos para su explotación y disposición se rigen por una política de Estado. Es decir, con una base jurídica plasmada en un mandato constitucional y apoyada con leyes específicas. La planificación de sus objetivos debe diseñarse con una visión de largo plazo por lo que, en teoría, debe trascender distintos periodos de gobierno.

Las estrategias que adopta se encuentran estrechamente vinculada a factores externos, como la evolución de los precios internacionales, los cambios en las políticas energéticas de los países que lideran la producción de hidrocarburos y, en el caso específico de México, del interés de Estados Unidos en la conformación de un mercado energético en el marco del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN)⁵⁶ para apuntalar su seguridad energética. Pero también son susceptibles a factores internos, como la noción de propiedad nacional del subsuelo (plasmada en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos), la alta dependencia fiscal de la renta petrolera, los monopolios energéticos y el poder de los sindicatos.

Este capítulo presenta el contexto donde toma lugar la formación de capacidades nanotecnológicas para el sector energético de México. Debido a la inexistencia de una estrategia específica que vincule a las nanotecnologías con sectores estratégicos, las innovaciones en este ámbito están enmarcadas en el funcionamiento simultáneo, pero no coordinado, de la política energética y de la política de CyT.

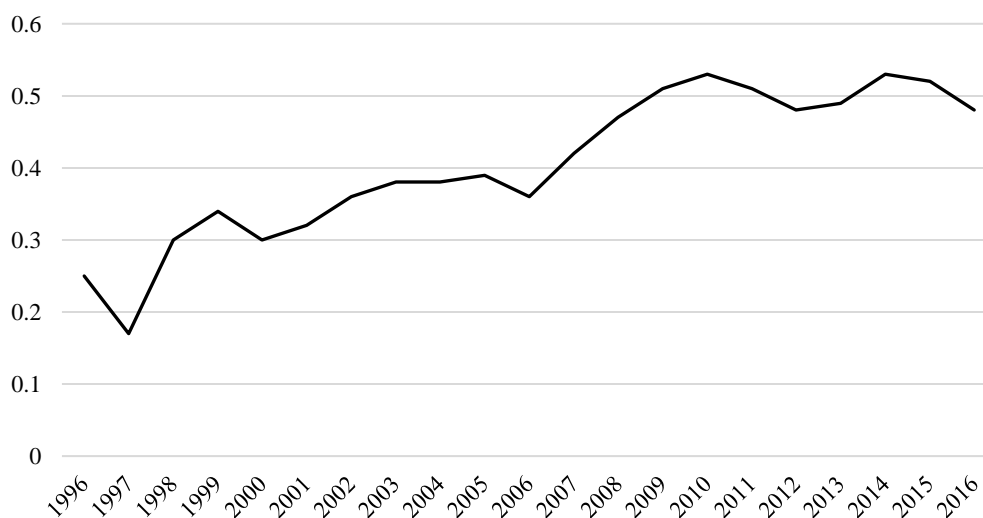
La Estrategia Nacional de Energía (ENE) 2014-2028 da rumbo al sector a través de la Reforma Energética, lanzada en 2013. La ENE busca lograr los consensos necesarios entre los distintos sectores y actores –social, académico, industrial, de investigación y los tres

⁵⁶ El 1 de julio de 2020 se tiene programada la entrada en vigor del Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC).

niveles de gobierno-, para determinar cuáles son los objetivos que se tienen como país en materia energética y las políticas que será necesario llevar a cabo para alcanzarlos. La Reforma Energética trajo consigo un cambio importante en la gestión de los fondos de energía, impulsando iniciativas que buscan posicionar a México como competidor en el entorno energético global. Se apoya la maduración del conocimiento y la innovación tecnológica con aplicación industrial; asimismo, se propone como fundamental la creación de capacidades científicas y tecnológicas, la formación de recursos humanos especializados y el fortalecimiento de la infraestructura de investigación (Secretaría de Energía, 2014).

La industria energética está directamente vinculada con la tecnología, el avance o atraso técnico de este sector es también un asunto tecnológico. Históricamente, en México se ha dado poca importancia a la actividad científica y tecnológica desde la política pública. El gasto destinado a actividades de I+D ha sido inferior al 0.6 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB) en los últimos 20 años (Gráfico 3.1), mientras en la mayoría de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) este rubro promedia el 2 por ciento (OECD, 2010). En 2001 se estableció el objetivo de invertir el 1 por ciento del PIB en I+D para el año 2006; sin embargo, nunca se logró (OECD, 2009) –el nivel más alto se dio en 2010 y 2014 con 0.53 por ciento.

Gráfico 3.1
México: gasto en I+D como porcentaje del PIB 1996-2016



Fuente: Banco Mundial (2019)

México enfrenta una transformación mundial de la industria energética, donde las herramientas tecnológicas juegan un papel fundamental en la creación de nuevos materiales y procesos para captación, almacenamiento y distribución de energía. Los gobiernos suelen desempeñar un papel crucial en el proceso de innovación en este sector, por ejemplo, financiando la investigación y el desarrollo. México ha creado y financiado cinco centros de innovación energética (CEMIE Bio, CEMIE Eólico, CEMIE Geo, CEMIE Océano, CEMIE Sol), centrándose en particular en la energía geotérmica, solar y eólica; la bioenergía; la energía oceánica; y las redes inteligentes (ONU, 2018). Sin embargo, nuestro marco político y económico sigue otorgando protagonismo central al petróleo como fuente de energía, en un contexto que ha dado poca atención al papel de la I+D en el desarrollo nacional.

En tal sentido, este capítulo revisa las estrategias que México ha implementado en materia de energía y ciencia, tecnología e innovación. Se busca dar un panorama de los lineamientos de política que dieron como resultado el diseño de la última Reforma Energética de 2013, así como los aspectos que permiten hoy la implementación de nanotecnologías en la industria.

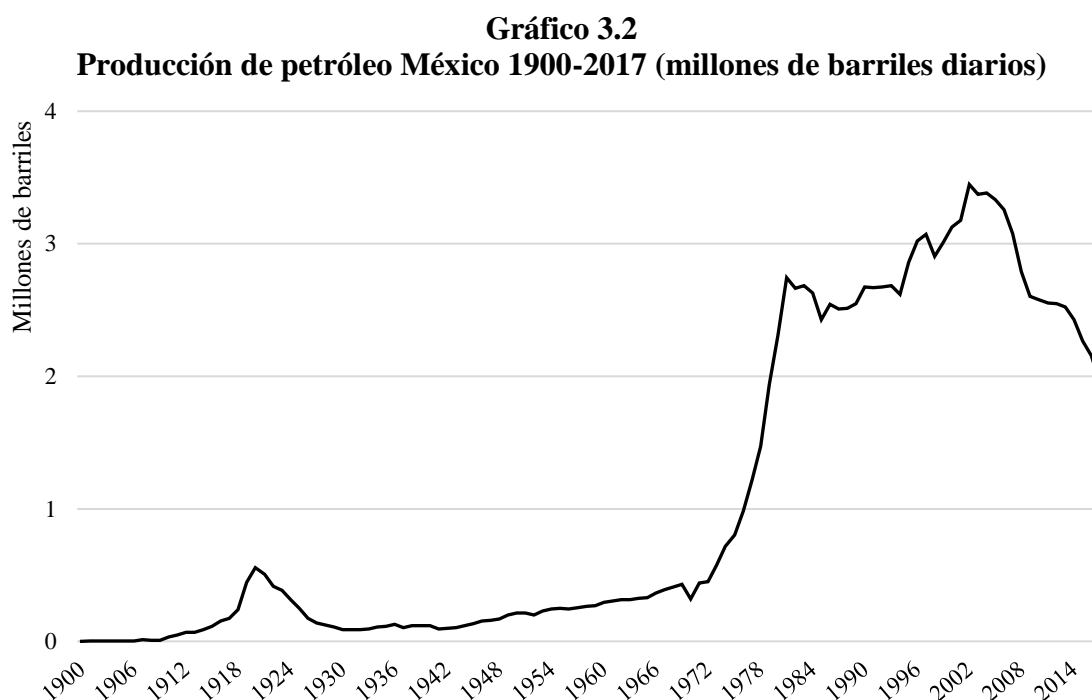
3.1 Panorama energético de México

En 2017, más de una tercera parte de la energía primaria consumida en el mundo provino del petróleo (34.2 por ciento); le siguieron el carbón (27.61 por ciento), gas natural (23.3 por ciento), hidroeléctrica (6.79 por ciento), nuclear (4.41 por ciento) y, en último lugar, las energías renovables (3.6 por ciento) (BP, 2018).⁵⁷ La estructura de consumo energético de México siguió la misma tendencia.⁵⁸ La fuente principal de energía primaria fue el petróleo (45.85 por ciento), le siguió muy de cerca el gas natural (39.77 por ciento), y las fuentes como carbón (6.92 por ciento), hidroeléctrica (3.8 por ciento), renovables (2.32 por ciento) y nuclear (1.32 por ciento) (BP, 2018) tuvieron una menor influencia en la matriz energética nacional.

⁵⁷ Se consumieron 13,511.2 millones de toneladas de petróleo equivalente.

⁵⁸ México consumió 189.3 millones de toneladas de petróleo equivalente.

Desde inicios del siglo XXI, en México se está produciendo menos petróleo y gas natural (gráfico 3.2) a la par que el gobierno en turno ha manifestado su interés en posicionar a la energía, y sobre todo a los hidrocarburos, como uno de los ejes de su política de desarrollo. En materia de hidrocarburos no convencionales, existen 26 bloques ya adjudicados para la exploración y extracción de petróleo y gas *shale*, 25 son asignaciones a Pemex Exploración y Producción para campos no convencionales. Existen, además, 183 bloques con potencial para ser licitados y adjudicados en un futuro. Hasta el 24 de enero de 2020, México contaba con 32,464 pozos petroleros; de ellos, 7,879 (24 por ciento – casi uno de cada cuatro) han sido fracturados hidráulicamente (Solís, 2019).



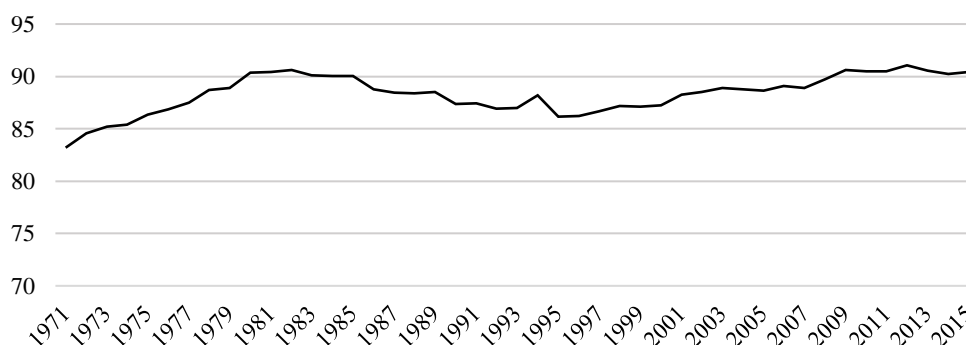
Fuente: De la Vega Navarro (1999) & Pemex (2019) 59

El sector energético de México está transitando por dos grandes transformaciones que buscan empatarse con la dinámica mundial. La primera es de corto plazo y busca modificar la estructura de los dos monopolios estatales, Pemex y CFE, por una basada en mercados

59 de 1900 a 2003: De la Vega Navarro, Ángel. La evolución del componente petrolero en el desarrollo y la transición de México, México, Programa Universitario de Energía, UNAM, 1999. Sobre la base de: Anuario Estadístico 1996. De 2003 a 2018: PEMEX Pemex-Exploración y Producción - Producción de petróleo crudo por región y activo 2003 a 2018. Disponible en: <http://ebdi.pemex.com/bdi/bdiController.do?action=cuadro&subAction=applyOptions>

competitivos. La segunda busca un cambio o transición desde los energéticos primarios fósiles y las tecnologías que producen altas cantidades de gases de efecto invernadero (GEI), a energías alternativas, renovables y sustentables. El reto consiste en diseñar políticas adecuadas que permitan instrumentar de manera simultánea ambas estrategias, teniendo como antecedente la alta dependencia del petróleo como fuente de energía y como soporte del 30 – 40 por ciento de las finanzas públicas en los últimos 40 años. De hecho, las transferencias de Pemex al gobierno siguen siendo altas en relación con la generación de flujo de efectivo de la compañía y, durante los últimos cinco años, promediaron el 45 por ciento de las ventas (Fitch, 2019). Pero la dependencia del petróleo se ha acentuado en los últimos años. Lejos de disminuir su consumo, en la última década más del 90 por ciento de la energía ha provenido de los combustibles fósiles (Gráfico 3.3).

Gráfico 3.3
Porcentaje de consumo de energía fósil en México (1970-2015)



Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial (2017)

En México, la empresa encargada de explorar, producir, transformar y transportar hidrocarburos es Pemex. La ahora llamada Empresa Productiva del Estado (EPE), enfrenta un panorama financiero crítico, siendo la petrolera más endeudada del mundo. Al cierre del cuarto trimestre del 2018, el tipo de cambio se ubicó en 19.68 pesos por dólar, lo que se tradujo en una deuda financiera total por 105, 800 mdd (Pemex, 2019). Esto representa el 86.5 por ciento de sus activos (Estañol & Sigler, 2019). El porcentaje es importante para poner en perspectiva la magnitud de la deuda. Por ejemplo, a Pemex le sigue la brasileña Petrobras, que enfrenta una deuda del 32.2 por ciento de sus activos (Estañol & Sigler, 2019).

Entre 2014 y 2015, los precios internacionales del petróleo comenzaron a bajar, y en ese contexto prácticamente todas las compañías petroleras, entre ellas Ecopetrol, Petrobras, Shell y Exxon, adoptaron una agresiva política de reducción de costos. La única que no se autoimpuso la disciplina de reducir sus costos fue Pemex (Mares, 2019). La EPE ha sido técnicamente insolvente desde 2009 al tener un saldo de capital total negativo (Fitch, 2019). El régimen fiscal especial que se aplica a Pemex desde 1994 llamado “Red Fiscal” comprende: derechos e impuestos sobre la extracción de petróleo; derecho extraordinario sobre la extracción del petróleo; derecho adicional sobre la extracción del petróleo; impuesto a los rendimientos petroleros; e impuesto especial sobre producción y servicios, todos estos impuestos y derechos son los que se acreditan al llamado “derecho sobre hidrocarburos”, al cual se le aplica una tasa de 60.8 por ciento sobre los ingresos gravables de la paraestatal que incluyen ventas de crudo al exterior; ventas a terceros; exportaciones de petrolíferos, gas natural, gas LP y petroquímicos (CEFP, 2001). El régimen fiscal especial que se aplica a Pemex ha llevado a esta empresa a enfrentar una situación financiera crítica que le impide el desarrollo de importantes proyectos de inversión y la expansión de su infraestructura. Por ello, se hace cada vez más impostergable una reforma fiscal en materia petrolera, modificar las fuentes de ingreso del gobierno federal y una reforma administrativa y regulatoria que le otorgue autonomía financiera, presupuestaria y de gestión. Hasta la fecha no se ha presentado un plan de negocios para la empresa, que se había anunciado estaría listo para abril de 2019, y que se ha postergado a junio del mismo año.

El petróleo es la fuente de energía más utilizada en el país, pero no es la única que sostiene la producción. La industria manufacturera consume la mayor cantidad de energía eléctrica (Galindo & Sánchez, 2005). Actualmente, más del 99 por ciento de la población tiene acceso a la electricidad, pero el consumo per cápita es relativamente bajo. Entre los sectores de uso final, la industria representa más de la mitad (56 por ciento) del consumo final de electricidad, muy superior al promedio en otras partes de la OCDE (International Energy Agency, 2016). Sin embargo, la generación y uso de esta energía también enfrenta cambios importantes a nivel internacional. Por un lado, está el desplazamiento de las plantas carboeléctricas y el uso de combustóleo; se espera que la generación de electricidad con gas (cada vez más barato) siga siendo de menor costo y de mayor eficiencia que la generación con carbón. Además, el aumento de incentivos y el incremento de la competitividad de las

energías renovables (especialmente solar y eólica) frente a las convencionales, ha generado un proceso de “electrificación” de la economía. Este proceso es la antesala de la transición energética. A pesar de que México tiene riqueza de fuentes energéticas renovables (solar, eólica, biomasa, hidroeléctrica y geotérmica), el potencial de este tipo de energía no ha sido totalmente explotado. La energía hidroeléctrica es, hasta ahora, la fuente de energía renovable con la mayor capacidad instalada en el país (11,603 MW) (Alemán-Nava et al., 2014). La electricidad constituye un ámbito primordial de la transición hacia el uso masivo de fuentes renovables y limpias de energía, especialmente mediante la generación de electricidad fotovoltaica, eólica, geotérmica e hidráulica. En este sentido, la última Reforma Energética surge en un contexto de disminución en la producción de petróleo y gas, así como la búsqueda de fuentes complementarias a los hidrocarburos.

3.2 Política energética en México

Durante el gobierno de Lázaro Cárdenas se definió una nueva serie de transformaciones en la dinámica política y económica del país; uno de sus ejes centrales era consolidar y fortalecer el desarrollo industrial. Sin embargo, uno de los aspectos más representativos del cardenismo fue el inicio de la consolidación y nacionalización de la industria energética. La CFE fue constituida en 1937 con el objeto de organizar y dirigir un sistema nacional de energía eléctrica para el beneficio de México (CFE, 2017). Un año después, el 18 de marzo de 1938, se decretó la expropiación petrolera y el 7 de junio de ese mismo año se creó Pemex como la única empresa del país facultada para realizar todos los trabajos de exploración, explotación, refinación y comercialización de los hidrocarburos de la nación (Pemex, s/f). La industria petrolera mundial, caracterizada entonces por un alto grado de concentración y de integración, se mantuvo sin cambios significativos hasta la Segunda Guerra Mundial (Mabro, 1983).

La década de 1960 marcó una serie de cambios importantes que tienen impacto vigente en el funcionamiento del sector energético mexicano. Durante este periodo, la industria se enfocó a su nacionalización e integración. Esto trajo un importante proceso de desarrollo tecnológico que permitió la realización de proyectos de infraestructura y vinculación con los sectores productivos. Además, con la creación de la Organización de

Países Exportadores de Petróleo (OPEP), en septiembre de 1960, los países con grandes reservas de hidrocarburos pudieron acceder al escenario político y económico mundial. El aumento de precios impulsó inversiones que trajeron nuevas capacidades de producción en otros países en desarrollo ajenos a la OPEP pero con grandes reservas como México, Egipto, Malasia y otros más (Al-Chalabi, 1984). A partir de entonces, se promovió fuertemente la idea de que la riqueza petrolera sería una palanca del desarrollo, y siguiendo modelos de industria que llegaban desde otros países (sobre todo Estados Unidos), se tomó la determinación de impulsar toda la cadena de valor del petróleo. Para conseguirlo, en 1965 se decretó la creación de un centro de I+D especializado en surtir de tecnología a Pemex: el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), como Organismo Descentralizado de interés público y de carácter preponderantemente técnico, educativo y cultural, con personalidad jurídica y patrimonio propios (SHCP, s/f).⁶⁰ El decreto de su creación reconocía el papel de la tecnología, la capacitación y el aprendizaje en el desarrollo de la industria petrolera y buscaba promoverlos a través del IMP:

Petróleos Mexicanos constituye una empresa estatal, y siendo las industrias petroleras y petroquímica de aquellas ramas de la actividad productiva en las que con mayor rapidez se presenta la innovación tecnológica y se exige un mayor saber técnico y una mayor capacitación obrera, lo que hace que requieran de centros para formar trabajadores especializados que estén en aptitud de ejecutar tareas subprofesionales y de adquirir la posibilidad de ascender a niveles superiores.

[...]

Que, por otra parte, es indispensable adecuar la política de innovación tecnológica de la industria petrolera, a la necesidad del país de fomentar industrias derivadas de la petrolera y petroquímica básica y cualesquier trabajos directamente relacionados con ellas que requiriendo relativamente menores inversiones, originan la creación de mayor número de puestos; por lo que resulta conveniente y útil la formación de investigadores, profesionistas y técnicos en esas diversas especialidades (SHCP, s/f, p. 1).

Ese mismo año se había dejado de exportar crudo, se suspendieron las importaciones y se buscó abastecer el mercado interno e incrementar las reservas. Estas medidas afectaron drásticamente la producción de varias ramas económicas, deterioraron el sector agrícola y debilitaron la inversión privada. Sin embargo, el descubrimiento de nuevos campos, cada vez más productivos, permitió mantener una posición relativamente estable.

⁶⁰ Actualmente, el IMP es la organización de I+D más importante del país por su capital humano, capacidades tecnológicas, infraestructura y por las redes institucionales en el país y en el extranjero relacionadas con la innovación de la industria petrolera (Aboites, Domínguez, & Beltrán Oviedo, 2004).

Esta década también marca un parteaguas en la industria eléctrica nacional. Durante el periodo denominado Industrialización por Sustitución de Importaciones (ISI), la electricidad fue un pilar del modelo de desarrollo económico. En 1960 se nacionalizó la industria con la compra de las dos principales generadoras y distribuidoras, propiedad de American and Foreign Power & Co. y la Mexican Light and Power Company.⁶¹ En diciembre de ese mismo año, el Congreso de la Unión adicionó el párrafo sexto al Artículo 27 de la Constitución, en el cual se establece que: “Corresponde exclusivamente a la Nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la Nación aprovechará los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines” (DOF, 1960). En términos de su capacidad, a inicios de 1970 se contaba con un nivel de generación bruta de 29 mil 351 Gigawatts-hora (Gwh), de los cuales el 88.7 por ciento lo producía el sector paraestatal, 7.9 por ciento el sector privado y el restante 3.4 por ciento lo generaba el sector mixto⁶² (CEFP, 2001). En ese entonces, el Estado era el único que podía generar y distribuir electricidad como servicio público.

Durante la década de los setenta, la escalada del precio internacional del petróleo provocó una acumulación excepcional de riqueza en los países petroleros. La llamada "crisis petrolera" mundial de 1973 provocó el aumento constante de los precios del crudo hasta principios de los años ochenta (Sandoval, 2009).⁶³ En la segunda mitad de esta década, México era ya una economía casi totalmente cerrada, fuertemente dependiente del endeudamiento externo y, por lo tanto, del petróleo como fuente de dólares para cumplir con los pagos de la deuda (Schettino, 2009). Y aunque la crisis de la economía mexicana finalmente estalló en 1976 con la salida de miles de mdd del país y una devaluación de la moneda superior a 80 por ciento, la captura de la renta petrolera externa contribuyó a recuperar el crecimiento. En esta etapa se registraron los primeros avances significativos en

⁶¹ En el caso de la industria eléctrica, la adquisición de los bienes de las empresas privadas eléctricas no se hizo por medio de una expropiación, como fue el caso de los bienes de las compañías petroleras extranjeras, sino por medio de la compra de las acciones.

⁶² Este sector dejó de operar en 1987.

⁶³ La crisis reforzó el impulso a las labores de exploración en el sureste de México, iniciadas a principios de 1972. Ello desembocó en la autosuficiencia productiva y el reinicio de las exportaciones de petróleo a partir de 1974.

innovaciones de la industria energética nacional. Los primeros programas de I+D en catálisis del IMP desencadenaron un intenso proceso de aprendizaje tecnológico, construcción de capacidades y generación de un fuerte *catching-up* hacia la frontera tecnológica de catalizadores determinada por las corporaciones multinacionales especializadas en tecnología de la industria petrolera.⁶⁴ Además, la consolidación de una estrategia científico-tecnológica para la energía eléctrica llegó en 1975 cuando se publicó, en el Diario Oficial de la Federación (DOF), el decreto de creación del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) como organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, con carácter científico y tecnológico (DOF, 1975). El Instituto tendría como algunos de sus principales objetivos:

“I. Realizar y promover la investigación científica, el desarrollo experimental y la investigación tecnológica, con la finalidad de resolver los problemas científicos y tecnológicos relacionados con el mejoramiento y el desarrollo de la industria eléctrica.

... V. Brindar asesoría a la Comisión Federal de Electricidad, a la industria de manufacturas eléctricas y a las compañías de ingeniería y servicios de consultoría relacionadas con la industria eléctrica.

... VII. Patentar y licenciar las tecnologías desarrolladas y los resultados de la investigación que obtenga y que resulten procedentes” (DOF, 1975, p. 30).

En estas mismas fechas, se ubican los primeros usos de fuentes alternativas de energía en el país (CEFP, 2001), sin embargo, su avance fue lento debido a los nuevos descubrimientos de hidrocarburos, que opacaron la visión sobre la importancia del uso de energías renovables. Toda la planta productiva y la infraestructura del país estaba siendo diseñada para funcionar con hidrocarburos y electricidad en una red interconectada y dependiente exclusivamente de estas fuentes. La producción de Cantarell había comenzado en 1979, generando 51.8 miles de barriles diarios en promedio anual⁶⁵ y sepultando toda esperanza de apostar por la I+D de otras fuentes energéticas.

⁶⁴ En 2001 el decreto se modificó y estableció como objetivo del IMP la investigación y el desarrollo tecnológicos requeridos por las industrias petrolera, petroquímica y química, la prestación de servicios técnicos a las mismas, la comercialización de productos y servicios tecnológicos resultantes de la investigación, así como la formación de recursos humanos altamente especializados en las áreas de su actividad, mediante:

a) La investigación científica básica y aplicada.

b) El desarrollo de disciplinas de investigación básica aplicada (SHCP, s/f).

⁶⁵ Este yacimiento alcanzó su pico de producción en 2004, con un promedio de 2.14 millones de barriles diarios (mdbd), aportando 63.2 por ciento de la producción mexicana de crudo (Calva, 2013). Desde entonces, la producción nacional de petróleo ha declinado a 3.26 mdbd en 2006, a 2.79 mdbd en 2008 y a 2.58 mdbd en 2010.

El 26 de enero de 1979 apareció, en el apartado de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia de Energía Nuclear, conocida como Ley Nuclear (DOF, 1979). Con esta ley, el Instituto Nacional de Energía Nuclear (INEN) se convirtió en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), además se crearon la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), que nunca comenzó su operación, la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) y Uranio Mexicano (Uramex). De acuerdo con esta ley, el ININ tendría como objetivo:

“Planear y realizar la investigación y el desarrollo en el campo de las ciencias y tecnología nucleares, así como promover los usos pacíficos de la energía nuclear y difundir los avances alcanzados para vincularlos al desarrollo económico, social, científico y tecnológico del país. [Tendrá la atribución de] realizar investigación pura y aplicada en los diversos campos de la ciencia y la tecnología nucleares; prestar asistencia técnica a los organismos que crea esta Ley, a la Comisión Federal de Electricidad y a las entidades públicas y privadas que lo requieran, en el diseño y construcción de plantas nucleo-eléctricas y, en su caso, la contratación de dichos servicios” (DOF, 1979, p. 6).

Desde un inicio se planteó la investigación y uso de la energía nuclear con fines pacíficos. A pesar de ser una fuente relativamente limpia, estable y de gran eficiencia, no se le dio impulso como combustible o generador de electricidad (lo que ha sucedido en Europa y, sobre todo, en Francia). Así, con la creación del ININ se consolidó el esquema de centros públicos de I+D en energía que prevalece hasta hoy.

El petróleo llegó a significar la principal fuente de divisas en los años ochenta, representando casi el 65 por ciento del valor total de las exportaciones en 1982 (CEFP, 2001). Sin embargo, la crisis de ese año (crisis de la deuda) puso de manifiesto la ausencia de una fórmula de crecimiento fincada en la explotación de un recurso natural no renovable. La apertura comercial, que arrancó hacia 1985, culminó con la firma del TLCAN, en 1994. La rápida reducción de los aranceles, la eliminación de los permisos previos de importación y la supresión de otros impedimentos al comercio externo se tradujeron en una realineación drástica de los precios relativos internos.

A inicios de la década de 1990, la política energética nacional respondía a objetivos de corto plazo y de integración con América del Norte, que han dado como resultado el incremento en la producción de petróleo crudo para exportación a Estados Unidos, bajas tasas de restitución de reservas, petrolización de las finanzas públicas, crecimiento del consumo de hidrocarburos sustentado en las importaciones, aumento de emisiones de gases de efecto

invernadero y el debilitamiento de Pemex (Sheinbaum, 2008). Después de que la reforma de 1992 a la Ley del Servicio Público de energía determinara la constitución de un órgano administrativo desconcentrado de la entonces Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP), se creó la Comisión Reguladora de Energía (CRE), en 1993, para fomentar el desarrollo eficiente de la industria energética, promover la competencia en el sector, proteger los intereses de los usuarios, propiciar una adecuada cobertura nacional y atender a la confiabilidad, estabilidad y seguridad en el suministro y la prestación de los servicios.

Sin embargo, esto fue la antesala de cambios profundos que se propondrían a la luz de la firma del TLCAN. Con la finalidad de asegurar el plan energético de los Estados Unidos, se estableció en el artículo VI, “Energía y Petroquímica Básica”, que las Partes (México, Estados Unidos y Canadá) reconocen deseable fortalecer el papel que el comercio de los bienes energéticos y petroquímicos básicos desempeña en la zona de libre comercio, y acrecentarlo a través de su liberalización gradual y sostenida (OEA, 2019). Esta liberalización comenzó con el gas natural. En 1995, se reformó la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional para promover la participación del sector privado, nacional e internacional en la industria del gas natural de México, además de proponer la desagregación de las actividades involucradas en el suministro a los adquirentes. Anteriormente, las actividades de explotación, procesamiento, construcción y operación de ductos de gas natural, incluyendo el almacenamiento y la comercialización (excepto distribuidoras), habían sido actividades reservadas al Estado a través de su empresa Pemex (CEFP, 2001).⁶⁶

El 8 de abril de 2008 se presentó una serie de reformas al artículo 27 constitucional en materia de hidrocarburos. Entre las propuestas realizadas al Congreso se encontraba la creación de una Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), órgano desconcentrado de la ahora Secretaría de Energía (Sener), que procurase que los proyectos de exploración y extracción se realizaran maximizando la renta en la extracción de petróleo crudo y gas natural (CEFP, 2008). Con la creación de esta Comisión se consolidó el sistema institucional

⁶⁶ De esta manera, la producción del gas natural sigue estando reservada al Estado, por tanto, las ventas del producto a la salida de las plantas se reservan a Pemex Gas. Sin embargo, en las actividades de almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de gas natural, la nueva regulación promueve la entrada de nuevos participantes, buscando con ello mayor competitividad.

energético que prevalece actualmente en el país. La figura 3.1 muestra estas instituciones y su papel dentro la política energética nacional.

Figura 3.1
Principales instituciones que influyen en la política energética de México

Secretarías de Estado		
<p align="center">Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP)</p> <p>A cargo de establecer los términos fiscales y económicos de los contratos petroleros y determinar otras variables de licitación. Establece rango de precios para ciertos productos derivados del petróleo</p>	<p align="center">Secretaría de Energía (Sener)</p> <p>Establece la política energética general en todas las áreas, incluida la eficiencia energética. Define qué campos de petróleo y gas se abren a licitación privada. Diseña los contratos petroleros y los términos y condiciones de las ofertas</p>	<p align="center">Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat)</p> <p>Regula y supervisa el impacto ambiental y la seguridad de las operaciones del sector de hidrocarburos a través de la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA)</p>
<p align="center">Reguladores Independientes</p> <p align="center">Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) Regula las actividades de exploración y producción, realiza licitaciones y administra contratos petroleros</p> <p align="center">Comisión Reguladora de Energía (CRE) Regula las operaciones de electricidad y de hidrocarburos intermedios</p>		<p align="center">Empresas Operadoras</p> <p align="center">Petróleos Mexicanos (Pemex) Empresa Productiva del Estado especializada en petróleo y gas</p> <p align="center">Comisión Federal de Electricidad (CFE) Empresa Productiva del Estado especializada en electricidad</p>

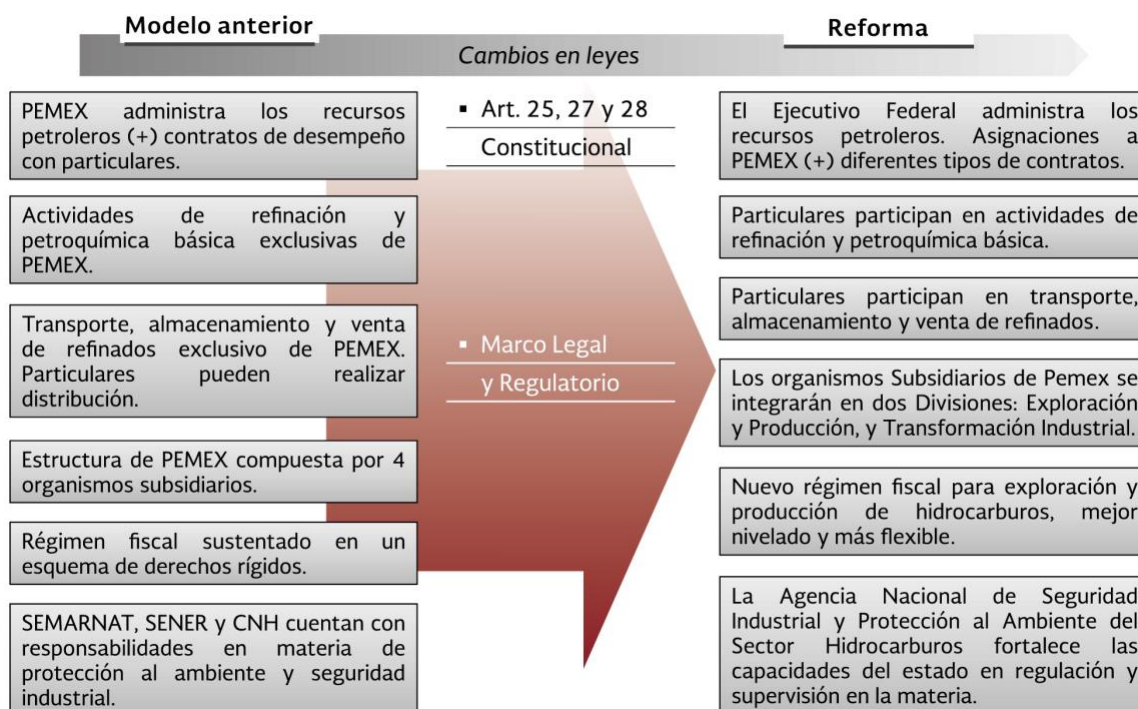
Fuente: International Energy Agency (2016) (traducción propia)

Además, el IMP, IIE⁶⁷ e ININ colaboran como centros de investigación, realizando actividades de I+D para las empresas operadoras y como asesores de las secretarías de estado. El escenario energético en el país funcionó bajo esta normativa institucional hasta el último proceso de Reforma Energética, lanzado en 2013. Este el primer cambio significativo explícito para modificar la fuerte dependencia petrolera de los últimos 80 años. La Reforma tiene como objetivo principal, de acuerdo a sus objetivos, desarrollar el potencial energético del país para que los beneficios converjan en una mayor industrialización y, por lo tanto, un mejor nivel de vida para todos los mexicanos (Secretaría de Energía, 2014). Para lograrlo, se realizaron modificaciones a los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución, y se establece un nuevo diseño para el funcionamiento del sector energético y para la construcción de los

⁶⁷ Al IEE se le reconoció como Centro Público de Investigación hasta noviembre de 2011.

instrumentos legales, administrativos y fiscales que lo enmarcan. Con ello se permiten la participación y competencia las compañías de energía extranjeras por contratos de producción compartida y licencias a través de rondas. La figura 3.2 presenta un esquema con los principales cambios realizados en el sector de hidrocarburos respecto al modelo de política anterior.

Figura 3.2
Modificaciones constitucionales en materia de hidrocarburos



Fuente: Secretaría de Energía (2014)

De acuerdo con la estrategia propuesta, se busca fortalecer a Pemex y a la CFE, incorporando la figura de Empresas Productivas del Estado. Además, se le otorga mayores facultades a los órganos reguladores; la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE) gozarán de personalidad jurídica propia, autonomía técnica y de gestión, así como autosuficiencia presupuestaria (Secretaría de Energía, 2014). Una vez que los ingresos por venta de petróleo asegurasen un PIB del 4.7 por ciento, a precios del 2013 (Alemán-Nava et al., 2014), se asignarían en un fondo de largo plazo: el Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo (Secretaría de Energía, 2014). De este fondo, el 10 por ciento se utilizará para financiar proyectos de ciencia, tecnología y

energías renovables, el 10 por ciento para el sistema universal de pensiones, el 10 por ciento en becas para el desarrollo de capital humano en universidades y posgrados y el 30 por ciento en proyectos petroleros de la Secretaría de Energía y desarrollo de la infraestructura nacional (Alemán-Nava et al., 2014).⁶⁸

El marco jurídico antes de la Reforma en materia de exploración y extracción de petróleo y gas natural forzaba a Pemex a asumir todos los riesgos en una diversidad de proyectos. En esta situación, la EPE era el único participante en aguas profundas, lutitas, campos complejos como el de Aceite Terciario del Golfo y campos maduros, al mismo tiempo que debía mantener sus esfuerzos en aguas someras, lo que resultaba en desaprovechar proyectos rentables para el país y restaba fortalezas a la empresa al disipar sus recursos en numerosas tareas (Secretaría de Energía, 2014).

La nueva legislación regula, entre otras cosas, la participación en la exploración y extracción de petróleo y gas natural en las siguientes formas: (i) en efectivo para contratos de servicio, (ii) con un porcentaje de ingresos para contratos de utilidad compartida o (iii) un porcentaje de la producción obtenida para los contratos de producción compartida; (iv) con la transferencia de hidrocarburos una vez que hayan sido extraídos del subsuelo para acuerdos de licencia o (v) cualquier combinación de los anteriores (Alemán-Nava et al., 2014). Con tres rondas de licitaciones en campos terrestres, aguas someras y profundas se han comprometido más de 160,000 mdd de inversiones, la Reforma Energética ha pactado más de 100 nuevos contratos, en las que participan más de 70 empresas –33 de ellas mexicanas– con un éxito de adjudicación superior a 70 por ciento (Solís, 2018). El cuadro 3.1 muestra la evolución de las rondas para la licitación y adjudicación de contratos para exploración y producción en materia petrolera.

Cuadro 3.1

⁶⁸ Derivado de las rondas, las transferencias al Fondo Mexicano del Petróleo a los ingresos presupuestarios contabilizaron 442,874 millones de pesos (mdp) durante 2017, un crecimiento de 35.6 por ciento comparado con 2016 (Solís, 2018).

Procesos de licitación para la adjudicación de contratos para la exploración y extracción de hidrocarburos por empresas particulares en México

Ronda/Fase	Fecha	Área	Tipo	Contratistas	Modalidad
1.1	04-sep-15	Cuenca del Sureste	Aguas Someras	Talos Energy, Sierra O&G y Premier	Producción Compartida
1.2	30-nov-15	Cuenca del Sureste	Aguas Someras	ENI México, Holchi Energy y E&P Hidrocarburos; Fieldwood Energy y Petrobal Upstream	Producción Compartida
1.3	16-dic-15	Campos Burgos, Campos Norte y Campos Sur	Campos Terrestres	Diavaz Off Shore; Sistemas Integrales con Nuvoil y Constructora Marusa; Consorcio Manufacturero Mexicano; Grupo Diarqco; Strata Campos Maduros, Diavaz Off Shore; Servicios de Extracción Petrolera Lifting; Construcciones y servicios industriales globales; Geo Estratos en consorcio Geo Estratos Mxoill, Renaissance Oil; Consorcio Manufacturero Mexicano; Grupo Diarqco; Canamex Dutch, Perfolat y American Oils Tools; Renaissance; Roma Energy, Tubular Technology y Gc Geoscience; Geo Estratos y Geo Estratos Mxoil; Strata Campos Maduros; Geo Estratos y Estragos Mxoil; Strata campos maduros; Sarreal; Grupo R y Constructora y Arrendadora; Perseus; Geo Estratos y Estraros Mxoil; Renaissance Oil	Licencia
1.4	10-mar-17	Cinturón Plegado Perdido y Cuenca Salina	Aguas Profundas	China Offshore; Total y Exxon; Chevron; PC Caligari; Murphy Sur, Ophir, PC Caligari y Sierra Offshore	Licencia
2.1	19-jun-17	Tampico Misantla, Veracruz y Cuencas del Sureste	Aguas Someras	PC Caligari; Capricorn y Citla Energy; Pemex y Ecopetrol; Capricorn Energy y Citla Energy; Eni; Repsol; Lukoil; Eni y Citla; Total y Shell	N.E.
2.2	19-jun-17	Burgos y Cuenca del Sureste	Campos Terrestres	Iberoamericana y PJP4; Sun God y Jaguar	Licencia
2.3	12-jul-17	Burgos, Tampico-Misantla, Veracruz y Cuencas del Sureste	Campos Terrestres	Iberoamericana y PJP4; Newpek y Verdad; Jaguar; Shandong, Sicoval y Nuevas soluciones; Carso Oil	Licencia
2.4	31-ene-18	Cordilleras Mexicanas y Cuenca Salina	Aguas Someras	Shell y Pemex; Shell y Qatar Petroleum; Pemex; Repsol, PC Caligari y PHir; PC Caligari, Ophir PTTEP; Repsol y PC Caligari; Shell; Chevron, Pemex e Inpex; Eni y Qatar Petroleum; PC Caligari; Repsol, PC Carigali, Sierra y PTTEP	Licencia

3.1	27-mar-18	Burgos, Tampico-Misantla-Veracruz y Cuencas del Sureste	Aguas Someras	Repsol; Premier; Capricorn y Citla; Pemex, Deutsche y Compañía Española; Pemex y Compañía Española; Eni y Lukoil; Pemex; Deutsche, Premier y Sapura; Pan American Energy; Pemex y Total; Total, BP, Pan American; Shell y Pemex	Producción Compartida
-----	-----------	---	---------------	---	-----------------------

Fuente: elaboración propia con información de la CNH (s/f)

Previo a la reforma, la política oficial hacía que los tres centros de I+D del sector energético debieran ser operados como empresas, y su gestión evaluada en los mismos términos que las entidades paraestatales, sin ninguna consideración a la diferente naturaleza de sus actividades (Mulás, 2007). Esto ha resultado en una división del trabajo científico al interior de la industria energética del país, donde los centros deben buscar por su cuenta actividades en el área de servicios tecnológicos especializados, con el fin de asegurar los ingresos requeridos para cubrir sus metas económicas, distorsionando su quehacer original manifiesto en los decretos de creación. Estas entidades deben ser autosuficientes, es decir, tienen que sobrevivir en función de contratos otorgados por las empresas de la industria energética. En estas condiciones, son pocos los contratos que se orientan a la innovación con el fin de incrementar el nivel tecnológico de la industria, y la mayoría se concreta en estudios o servicios especializados, útiles para las empresas privadas pero que poco o nada contribuyen al desarrollo del sector. Siendo Pemex la única empresa en México facultada para explorar, producir y transportar hidrocarburos, el IMP (como su centro de investigación) se vio limitado a subsistir con los contratos tecnológicos que la EPE demandara. En este proceso, la reinversión a I+D para la industria ha sido relativamente bajo e inconsistente. Por ejemplo, el cuadro 3.2 presenta el porcentaje de ventas de Pemex que se destina a I+D, a través del IMP.

Cuadro 3.2
Porcentaje de las ventas de Pemex como presupuesto del IMP 2006-2018

<i>Año</i>	<i>Ventas Pemex (mdp corrientes)</i>	<i>Presupuesto autorizado IMP (mdp corrientes)</i>	<i>% de las ventas de Pemex al IMP</i>
2006	1,132,236	5,109.8	0.45
2007	1,136,035	5,935.9	0.37
2008	1,328,949	5,866.5	0.44

2009	1,089,921	5,463.4	0.50
2010	1,282,064	5,850.1	0.45
2011	1,558,428	6,332.1	0.40
2012	1,646,912	4,945.8	0.30
2013	1,608,204	5,210.7	0.32
2014	1,586,727	6,260.5	0.39
2015	1,166,362	7,141.4	0.61
2016	1,079,545	6,459.8	0.59
2017	1,397,029	5,865.4	0.41
2018	1,679,844	5,392.1	0.32

Fuente: elaboración propia con datos de 2006-2017: Pemex (2018); 2018: Pemex (2019)

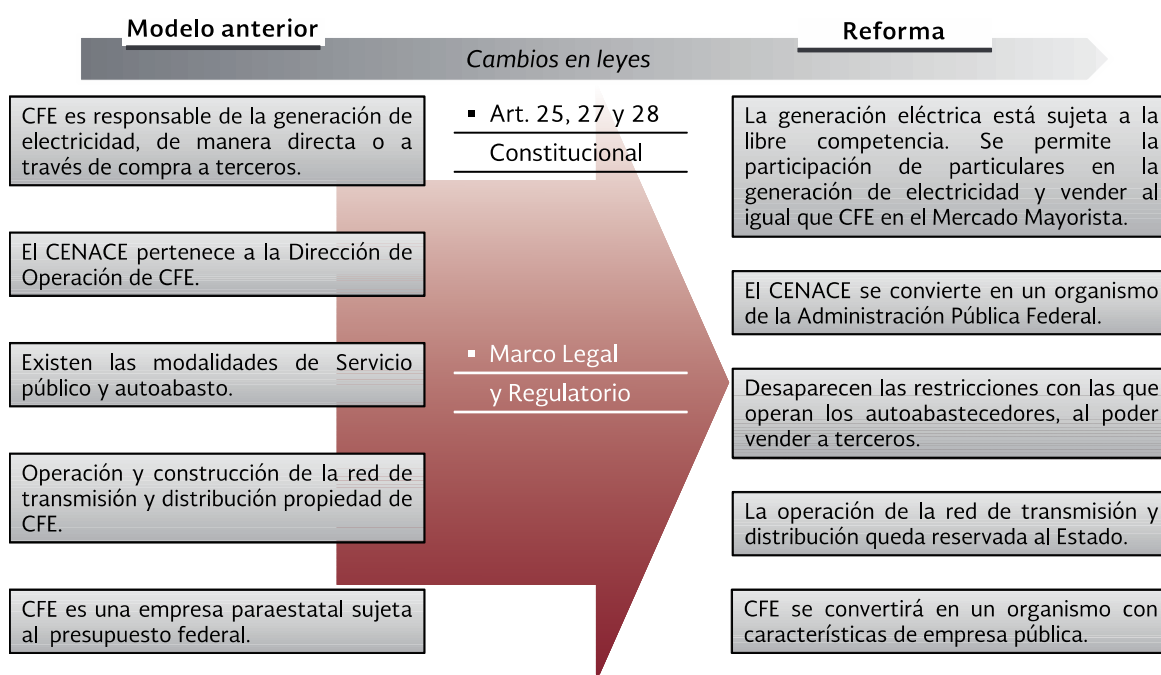
Considerando que el IMP es el centro de investigación y desarrollo tecnológico de Pemex, en los últimos 13 años se ha destinado, en promedio, el 0.42 por ciento de las ventas de la paraestatal a I+D. El argumento propuesto por la Reforma es que permitiría no sólo un incremento en el presupuesto nacional para I+D en energía, al permitir la importación de tecnología de las empresas energéticas, también lograría diversificar la cartera de opciones tecnológicas en productos de difícil acceso como gas *shale*, lutitas y petróleo extra pesado.

En el sector eléctrico, históricamente se han enfrentado problemas para satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica. Las reformas a los artículos 27 y 28 constitucionales en febrero de 1999 permitieron la competencia y participación del sector privado en actividades que dentro de la industria no constituyeran un servicio público, el cual se mantenía reservado exclusivamente al Estado. Con esta modificación jurídica se sentaron las bases para una ulterior reforma integral en la industria eléctrica nacional (CEFP, 2001). Sin embargo, hasta antes de 2000, cerca del 35 por ciento de la generación eléctrica del país estaba en manos de privados, provocando crecimiento de la deuda por Pidiregas,⁶⁹ electricidad más cara, incremento innecesario de centrales y de las importaciones de gas natural y pérdida de control de la CFE sobre el despacho de carga (Sheinbaum, 2008).

⁶⁹ Los Pidiregas se establecieron como una supuesta forma para evitar el endeudamiento directo de las entidades energéticas, a partir de adquirir de terceros, obras y bienes de capital incluido el financiamiento. A la larga, este endeudamiento ha sido sumamente oneroso, pues siempre incluye una tasa de interés más alta que la que hubiese sido contratada directamente por Pemex o la CFE, además de la ganancia y los posibles riesgos de los privados. Por lo demás, en la gran mayoría de los casos, las obras y servicios se han asignado a empresas extranjeras (Sheinbaum, 2008).

De ser un organismo descentralizado, la CFE pasó a ser una EPE con la Reforma de 2013 (figura 3.3), y de acuerdo con la Ley de la Comisión Federal de Electricidad (LCFE), tiene como fin el desarrollo de actividades empresariales, económicas, industriales y comerciales en términos de su objeto, que generen valor económico y rentabilidad para el Estado Mexicano (CFE, 2017). Con esto, se abrió la posibilidad de generar energía de forma particular y vender a terceros. Con excepción de la nuclear, todas las demás tecnologías de generación de energía eléctrica podrían ser desarrolladas por terceros que desearan participar en el mercado.

Figura 3.3
Modificaciones constitucionales en materia de electricidad



Fuente: Secretaría de Energía (2014)

A partir de los cambios al Artículo 28 Constitucional, la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica son definidos como áreas exclusivas del Estado Mexicano, mientras que la generación y la comercialización de energía eléctrica se abren a la participación del sector privado en los términos de la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) (CFE, 2017). De acuerdo con la nueva regulación:

“...la SENER es responsable de establecer, conducir y coordinar la política energética del

país en materia de electricidad; mientras que el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), sectorizado a la SENER, tiene por objeto ejercer el control operativo del SEN, operar el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) y garantizar el acceso abierto a la Red Nacional de Transmisión (RNT) y a las Redes Generales de Distribución (RGD)” (CFE, 2017, p. 26).

El nuevo marco permite que los particulares que operen actualmente bajo esquemas de pequeña producción, autoabastecimiento, cogeneración, importación y exportación. Además, la CRE tiene ahora a su cargo orientar de manera autónoma, transparente y eficiente los intereses de los usuarios y sujetos regulados al desarrollo de un mercado energético competitivo y sostenible. Actualmente, la CFE cuenta con más del 85 por ciento de la capacidad de generación eléctrica del país, alrededor de 107,000 kilómetros de líneas de transmisión y subtransmisión, y una cartera de aproximadamente 42.1 millones de clientes a noviembre de 2017 (CFE, 2017). Esta concentración y dependencia de la CFE se aligeraría con la Reforma. Empresas particulares ya han comenzado a producir electricidad y a surtir de energía a compañías importantes del sector minero y comercial (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3
Empresas privadas con participación en generación y venta de energía eléctrica en México

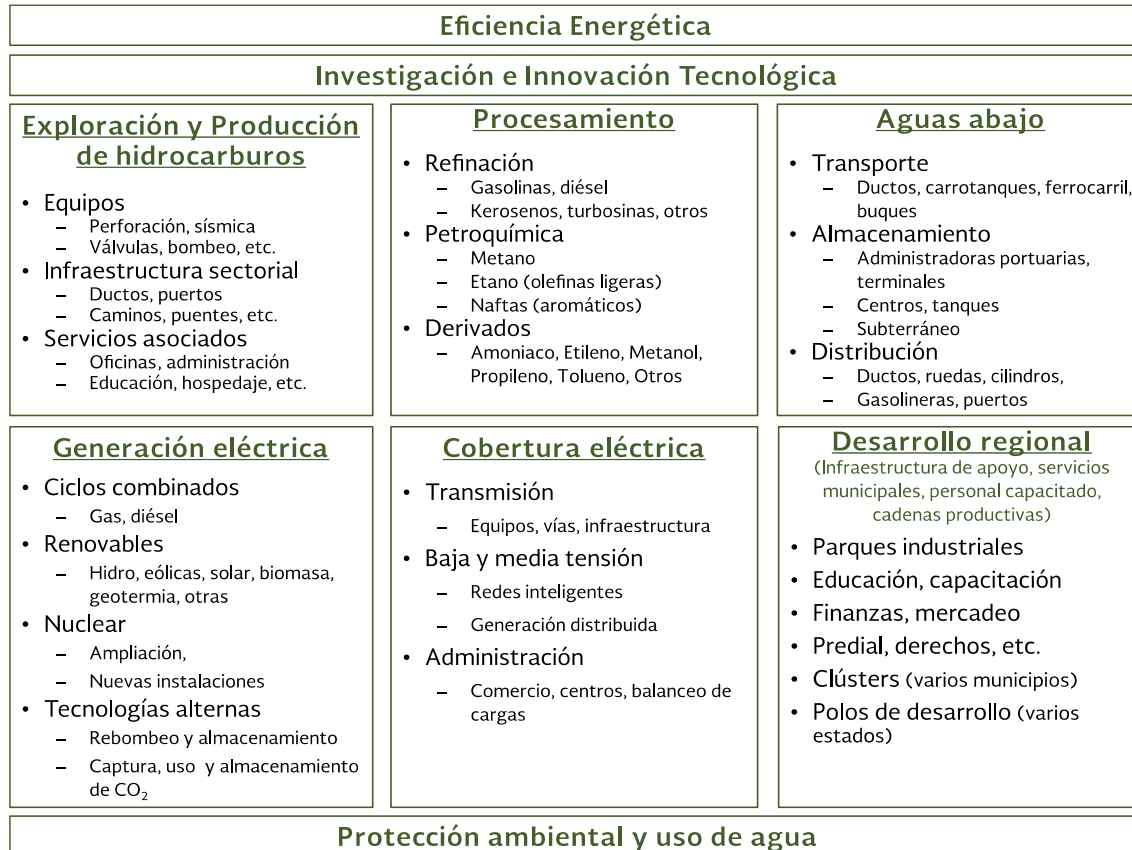
Empresa	Proyectos energéticos	Clientes	Plan de inversiones
Mexichem	2 planta de cogeneración de 500 MW	Autoconsumo y Pemex	600 mdd
Grupo México	Dos plantas de cogeneración con una capacidad total de 500 MW	Autoconsumo	300 mdd
Minera Autlán	Compañía de Energía Mexicana (CEM) que controla la Central Hidroeléctrica Atexcaco	Autoconsumo	350 mdd (en 5 años)
Enel Green Power	Planta hidroeléctrica en Jalisco, paneles de energía solar en Cancún, Hidroeléctrica El Gallo, Planta y parque eólicos en Oaxaca, Hidroeléctrica en Michoacán	FEMSA, BOSCH, Walmart	8,200 mdd
Acciona	Complejos eólicos en Oaxaca con una capacidad de 306 MW y Parque eólico Eurus de 250.5 MW	Cemex, Grupo Bal	111 mdd
ILLIOS	Desarrollo de paneles solares para tiendas Soriana y City Club	Soriana y Grupo México	500 mdd
InterGen	Compró 50 % de Energía Sierra Juarez a Ienova con una capacidad de 155 MW	N.E.	270 mdd

Iberdrola	Cuatro parques eólicos en Oaxaca con una capacidad de 400 MW	Gobiernos y empresas	300 mdd
Genermex - Tramosa	Impulso y tecnología a proyectos de CFE	CFE y Pemex	N.E.
AES Corporation	Tres plantas de energía con una capacidad de 944 MW	Peñoles y CEMEX	1000 mdd

Fuente: CCEEA (2016)

La creación del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) como organismo público descentralizado, permitiría evitar conflictos de interés que surgiesen si CFE siguiera realizando el despacho económico, ya que sería generador y coordinador del sistema (Secretaría de Energía, 2014). El CENACE desarrolla nuevas capacidades para facilitar el despacho de energías renovables variables, manteniendo un funcionamiento óptimo del sistema. Además, el 24 de junio de 2016, el IIE se había convertido en el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) (DOF, 2016). Así, con la plena implementación de la Reforma, se daría paso a transformar las principales áreas de investigación tecnológica de la matriz energética nacional (Figura 3.4); se diversificarían las actividades de investigación, desarrollo, producción, distribución y almacenamiento de la industria de energía. Lo anterior permitiría, más que soberanía, una mayor seguridad energética nacional.

Figura 3.4
Áreas de transformación a partir de la Reforma



Fuente: Secretaría de Energía (2014)

Quedan interrogantes acerca de la continuidad de este proceso. El último PND 2019-2024 considera que este proyecto “causó un daño gravísimo a Pemex y CFE, empresas productivas del Estado, que ya venían sufriendo el embate de los designios privatizadores” (Gaceta Parlamentaria, 2019). Reconociendo una caída en la producción de petróleo, se plantea la rehabilitación de las refinerías existentes y la construcción de una nueva en Dos Bocas, Tabasco. Sin embargo, debido a la importancia de la energía en el desarrollo nacional, más que la soberanía debe garantizarse la seguridad energética. Debido a la disminución de reservas petroleras de fácil acceso, lo que se requiere, además de una rehabilitación, es adaptar la infraestructura para la trata de crudos pesados, así como opciones tecnológicas para su exploración y extracción.

Sobre energías renovables hay algunas nociones que deben ser precisadas y dirigirse con rumbo concreto. Se estableció la meta de pasar de 25.6 por ciento de energía eléctrica producida mediante fuentes limpias en el 2018 a 35.8 por ciento al 2024 (García, 2019). Lo

anterior a pesar de que el CENACE estimó que se deben reevaluar las metas en este sentido, a la par de que los mayores proyectos de apalancamiento de transmisión y generación renovables fueron suspendidos al arrancar el sexenio 2018-2024 (las últimas rondas petroleras también fueron postergadas). Fueron canceladas las licitaciones para dos megalíneas de transmisión que interconectarían a la Península de Baja California con el Sistema Interconectado Nacional y al Istmo de Tehuantepec con el centro del país, mismas que permitirían desahogar por lo menos 6,000 MW adicionales de energías renovables de ambas regiones en las que hoy los proyectos resultan inviables o a sobrecostos por la saturación en las redes existentes (García, 2019). Por ahora las energías renovables, más que ser un sustituto, funcionan como un complemento a la energía fósil. Por ello, se requiere de una estrategia de largo plazo que dirija recursos financieros, políticos y tecnológicos a garantizar un abasto de energía constante y de calidad.

3.3 Estrategias de aprovechamiento de fuentes de energía renovables en México

México cuenta con un gran potencial en materia de energías renovables. Su diversidad de climas y ecosistemas le permite captar grandes cantidades de sol, mareas, viento y geotermia todo el año. Sin embargo, ha sido poco el interés por insertarlos en la matriz nacional. Además, los marcos regulatorios han sido poco enfáticos en aprovechar este tipo de recursos. Como se mencionó anteriormente, la energía renovable a la que mayor cantidad de recursos para I+D se le dedica es la solar. México posee una capacidad de generación de energía solar capaz de satisfacer la totalidad de su actual demanda eléctrica, tan sólo a través de la instalación de fuentes de generación fotovoltaica en las regiones de mayor potencial. Conforme a las estimaciones de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), los estados con los niveles más altos de insolación son: en el norte, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas y la península de Baja California, y en el sur, la península de Yucatán y prácticamente toda la costa del Pacífico (Semarnat, 2015). Podría pensarse que estos estados son los que mayor infraestructura para la captación de energía solar poseen. Por lo tanto, también podría esperarse que sean los estados donde mayor cantidad de proyectos de nanotecnologías aplicadas a la energía fotovoltaica se desarrollen y

se pongan a prueba. Sin embargo, como veremos, la apuesta por las renovables tiene otros objetivos.

Únicamente Chiapas, Oaxaca, Sonora, Durango, Coahuila, Morelos, Quintana Roo, Nuevo León, Baja California cuentan con leyes estatales en materia de energías renovables. Los estados del norte (Coahuila, Baja California, Tamaulipas y Sonora tienen la mayor capacidad de generación de energías solar y eólica. Por otro lado, Chiapas y Oaxaca tienen alto potencial de generar energía eólica. Baja California Sur, la Ciudad de México, Puebla, Quintana Roo y Zacatecas son las entidades que menores niveles de energías renovables producen. Finalmente, Querétaro, Tlaxcala y Tabasco aparecen sin producción de renovables de algún tipo (CIMAV, s/f). La primera estrategia nacional de largo plazo que tomaba en cuenta la transición hacia este tipo de energéticos se publicó en 2012 (Sener, 2012). El documento cuenta con una prospectiva para el año 2026, donde se proyecta incrementar la participación de renovables en el país. En 2015, la Semarnat publica la capacidad autorizada de cada entidad federativa para generar estas energías (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.4
Capacidad autorizada en proyectos de energías renovables por entidad (MW) 2015

Entidad Federativa	Hidroeléctrica	Bioenergía	Geotérmica	Solar	Eólica	Total
Oaxaca	47	-	-	-	1,292	1,339
Coahuila	-	5	-	333	501	839
Sonora	37	-	-	755	27	819
Tamaulipas	-	-	-	90	603	693
Chihuahua	10	1	-	676		687
Baja California	28	-	-	45	559	632
Veracruz	534	-	-	1	40	575
Puebla	135	-	-	30	366	531
Durango	30	-	-	292	121	443
Zacatecas	-	-	-	240	180	420
Nuevo León	-	3	-		302	305
San Luis Potosí	-	1	-	90	200	291
Otros	304	78	65	1,281	220	1,948
Total	1,125	88	65	3,833	4,411	9,522

Fuente: Semarnat, 2015

La energía eólica es la que presenta mayor capacidad, medida en MW, y casi todos los estados seleccionados en el cuadro 3.1 (excepto Chihuahua) desarrollaron al menos un proyecto en este rubro. Oaxaca registró la mayor capacidad (1,399 MW), un 14.1 de la capacidad autorizada total (Semarnat, 2015). Según la Sener, México se ubica como el tercer país más atractivo del mundo para invertir en proyectos de energía solar fotovoltaica, tan sólo detrás de China y Singapur (Sener, 2012). Uno de los argumentos de la Sener, es que la generación de energía eléctrica con recursos renovables ofrece, entre sus ventajas, la reducción del costo de los servicios municipales de energía eléctrica (alumbrado público, bombeo de agua y edificios públicos), ya que el consumo de electricidad representa un alto porcentaje de sus gastos de operación.

3.3.1 Normatividad y marco regulatorio

En el caso de que se busque realizar en México productos nanohabilitados para energías renovables, se debe cumplir con una normativa establecida. Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), de carácter obligatorio, y las Normas Mexicanas (NMX), de carácter voluntario, son elementos fundamentales que permiten garantizar que la oferta de productos de energías renovables en el mercado mexicano, cumplan con especificaciones y requerimientos que garanticen la seguridad, eficiencia y adecuada funcionabilidad y manejo en el mercado nacional. En la actualidad, se cuenta ya con algunas normas en materia de energías renovables, las cuales se detallan a continuación:

- “La NMX-ES-001-NORMEX-2005. Rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua, métodos de prueba y etiquetado.
- La NMX-ES-003-NORMEX-2 007. Requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos para calentamiento de agua.
- La Norma Técnica de Competencia Laboral para la instalación de sistemas de calentamiento solar de agua, desarrollada por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales.
- La Norma Ambiental para el Distrito Federal, NADF-008-AMDT-2005, que establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en albercas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavandería y tintorería.
- La NOM-150-SEMARNAT-2006, que incluye las especificaciones técnicas de protección ambiental que deberán observarse en las actividades de construcción y evaluación preliminar

de pozos geotérmicos para exploración en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, fuera de áreas naturales protegidas y terrenos forestales” (Sener, 2012, p. 131).⁷⁰

Cabe mencionar, que actualmente están en desarrollo diversas normas en materia de energías renovables, en especial en energía fotovoltaica, que permitirán un desarrollo del mercado nacional con las características antes mencionadas.

3.4 Política de ciencia, tecnología e innovación en México

El gobierno de Cárdenas se caracterizó por institucionalizar las actividades científico-tecnológicas en el país, con la creación del Consejo Nacional de la Educación Superior y de la Investigación Científica, en 1935. Desde entonces, los Gobiernos de la República han promovido organismos específicos de apoyo a la ciencia y la tecnología: la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica (CICIC), en 1942; y el Instituto Nacional de la Investigación Científica (INIC), en 1950, y reformado en 1961. Sin embargo, hasta ese entonces, la CyT avanzó sin el marco de una política nacional, el financiamiento era escaso y había poca vinculación y coordinación entre la actividad científica y la productiva. Es por ello que, también en materia de CyT, la década de 1960 marca un parteaguas en el diseño de la agenda pública.

En 1969 se convocó a distintas secretarías de Estado, universidades, centros públicos de investigación e instituciones de salud y desarrollo social,⁷¹ a que dieran sus opiniones y

⁷⁰ Queda pendiente estudiar el empate de estas normas con las emitidas en octubre de 2014 por la Secretaría de Economía, la Subsecretaría de Competitividad y Normatividad y la Dirección General de Normas. La NMX-R-10867-SCFI-2014, para la Caracterización de nanotubos de carbono de una capa mediante espectroscopia de fotoluminiscencia en el infrarrojo cercano; la norma NMX-R-10929-SCFI-2014, para la caracterización de muestras de nanotubos de carbono de múltiples capas; la NMX-R-27687-SCFI-2014, que plantea una terminología y definiciones para nano-objetos-Nanopartícula, nanofibra y nanoplaca; la norma NMX-R-80004-1-SCFI-2014, denominada Nanotecnologías; Vocabulario-Parte 1: Conceptos básicos y finalmente; y la norma NMX-R-80004-3-SCFI-2014, Nanotecnologías-Vocabulario-Parte 3: Nano-objetos de carbono (Secretaría de Gobernación, 2014). Todas estas normas mexicanas homologan las equivalentes de la ISO.

⁷¹ Participaron: la Secretaría de Educación Pública; Secretaría de Salubridad y Asistencia; Universidad Nacional Autónoma de México; Instituto Politécnico Nacional; Instituto Mexicano del Petróleo; Instituto de Investigaciones de la Industria Eléctrica; Comisión Nacional de Energía Nuclear; Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM; Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas, A.C.; Instituto Nacional de la Nutrición; Instituto Mexicano del Seguro Social; Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado; Centro Nacional de Productividad, y la Academia de la Investigación Científica, A.C.

puntos de vista sobre el estado de la CyT en México. La conclusión fundamental de esas reuniones fue que la ciencia y la tecnología son ingredientes básicos del desarrollo general e integrado, además de ser herramientas importantes para acelerarlo. Por ello, resultaba indispensable establecer una Política Nacional en Ciencia y Tecnología y formular los programas correspondientes que coadyuvaran al desarrollo integrado del país (INIC, 1970). Se determinó que la investigación científica y su aplicación deberían tener objetivos específicos sobre sectores y campos concretos de acción. Entre los más importantes destacaban:

“... a) la educación y la cultura; b) la contribución al crecimiento económico de la nación; c) la elevación del nivel de vida de nuestra población; d) el mejoramiento de la producción agrícola, pecuaria, forestal y pesquera, que asegure el abastecimiento y la calidad de los alimentos, de las materias primas para la industria, y la producción de bienes de exportación; e) el impulso a la industrialización y el mejoramiento de su eficiencia productiva a fin de que la industria y los servicios satisfagan las necesidades básicas del país, estén en aptitud de absorber los excedentes de la población rural y el incremento del trabajo urbano, y permitan elevar la exportación de manufacturas; f) una mayor contribución a la sustitución de las importaciones de técnica extranjera, al fomento de industrias básicas y a la formación de fuerza de trabajo calificado a distintos niveles; y, g) la programación del financiamiento e inversión necesarios” (INIC, 1970, p. 14).

Además, se sugerían programas específicos de mediano y largo plazo, fijando metas y determinando los instrumentos para lograrlos. Se reforzó el papel del Estado como coordinador de la elaboración y ejecución del plan nacional de CyT, debido a su importancia en la vida económica del país y a que el sistema educativo nacional, base de las actividades científicas y tecnológicas, recibía más del 80 por ciento de su presupuesto del gobierno, lo que representaba alrededor del 3 por ciento del Producto Nacional Bruto (INIC, 1970).

Se logró consenso en mejorar la organización de la actividad científica y tecnológica del país. Para ello se propuso la creación de un Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología que debía contar con la participación de un órgano gubernamental de alto nivel; instituciones de enseñanza superior; centros de investigación básica y aplicada, y empresas. Dentro de las funciones propuestas para el órgano gubernamental, se encontraba el captar y jerarquizar las necesidades nacionales en materia de CyT, institucionalizando comités consultivos correspondientes a los diferentes problemas, especialidades o áreas (INIC, 1970). Se propuso llamarlo Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), y debía ser un órgano descentralizado del Estado, con personalidad jurídica y patrimonio propios; tendría como responsabilidades elaborar, en forma permanente, programas indicativos de investigación

científica y tecnológica, y proponer la creación de nuevas instituciones o la promoción de empresas, así como administrar los recursos destinados a la actividad científico-tecnológica del país. Así, el 29 de diciembre de 1970, se publicó la Ley de creación del Conacyt, el cual tiene por objeto ser la entidad asesora del Ejecutivo Federal y especializada para articular las políticas públicas del gobierno federal y promover el desarrollo de la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación a fin de impulsar la modernización tecnológica del país (DOF, 1970).

La consolidación de estos objetivos fue la antesala del primer Plan Nacional Indicativo de Ciencia y Tecnología (PNICyT), publicado en 1976. El Plan inicia con un apartado sobre la función social de la CyT donde se plantea una primera distinción explícita entre estas dos actividades: ⁷²

“Las actividades científicas y las actividades tecnológicas, no obstante que integran una unidad en las sociedades contemporáneas, difieren tanto en los objetivos específicos inmediatos como en la motivación de quienes los emprenden; difieren también en el método de su realización, más aún, aunque tienen funciones sociales comunes, cada una cumple, además, funciones sociales específicas. Mientras la investigación científica básica se propone conocer la naturaleza y la sociedad, la investigación tecnológica tiene como objetivo transformarlas. La primera suele ser evaluada principalmente con criterios internos a la ciencia misma. La segunda se evalúa principalmente con criterios económicos y sociales, midiendo sus efectos directos en la producción de bienes y servicios, y en el mejoramiento de la calidad de vida” (Conacyt, 1976, pp. 1–2).

El Plan resaltaba la necesaria participación conjunta entre la política de CyT con las políticas educativa y económica para fomentar el desarrollo social. En 1970 sólo el 19 por ciento (635 de 3,300) de los recursos humanos para la investigación contaba con posgrado (Conacyt, 1978). Por ello, una de las obligaciones del Consejo era la formación de recursos humanos especializados, el impulso a la formación de posgrados y el intercambio con instituciones en el extranjero a través de un programa de becas que el mismo Consejo debía administrar. Desde sus inicios, en 1971, y hasta 1978, el presupuesto asignado para el Conacyt se había incrementado en un 54 por ciento anual (Conacyt, 1978). Así, para 1978, ya había 13,300 personas dedicadas a la investigación en el país; de ellas, 3,055 tenían grado de doctor y 5,560 de licenciatura (Conacyt, 1978).

Al inicio de los ochenta, la economía mexicana se caracterizó por la intervención del

⁷² Antes de la publicación de este Plan, se consideraba la existencia de investigación fundamental e investigación aplicada, así como la necesidad de un equilibrio entre ambas, pero sin una distinción explícita entre las formas de realizar o evaluar cada una.

sector público en muchos ámbitos. Se trataba de una economía cerrada, altamente regulada y altamente dependiente de la industria petrolera. Debe recordarse que, entre 1980 y 1982 el país enfrentó un entorno externo adverso. La caída de los precios internacionales del petróleo y el incremento de las tasas de interés en el mercado internacional de capitales provocaron una suspensión temporal en el servicio de la deuda externa. Los organismos internacionales imponían como condición para otorgar su apoyo financiero sanear las finanzas públicas, estabilizar la economía y reducir la participación del Estado en la actividad económica. A partir de entonces se abrieron los mercados y las empresas protegidas por el esquema de sustitución de importaciones debieron competir con sus pares a nivel global. La competitividad se volvió un elemento indispensable para cumplir esa tarea y, para ello, la tecnología debería jugar un papel clave.

En 1983, Miguel de la Madrid presentó formalmente el primer Plan Nacional de Desarrollo (PND) 1983 – 1988.⁷³ El PND es un documento publicado por el gobierno federal donde se establecen los objetivos nacionales, las estrategias y las prioridades de acción del gobierno que serán la base para los programas sectoriales, especiales, institucionales y regionales. Una de estas estrategias es la que abarca las actividades de CyT para resolver los problemas nacionales. Siguiendo la legislación vigente, de acuerdo con el artículo 26 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Secretaría de Educación Pública y el Conacyt deben presentar los Programas Nacionales de CyT (independientemente del nombre que le asigne cada periodo), mismos que se enmarcan dentro del PND. En sintonía con este primer Plan se entregó el Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico (PNDTyC) 1984-1988, que establecía:

“Que la política tecnológica y científica establecida en el Plan Nacional de Desarrollo 1983-1988 fue concebida como un instrumento fundamental para aprovechar y proyectar el potencial económico del país, coadyuvar a la consecución de los grandes propósitos nacionales y fortalecer al Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, a fin de que tenga capacidad para: aumentar la autodeterminación científica y tecnológica del país; avanzar en el conocimiento de nuestra realidad física, biótica y social; ofrecer soluciones científicas y técnicas a los problemas económicos y sociales del país; coadyuvar al desarrollo nacional y a la descentralización de las actividades productivas de bienes y servicios; y crear conciencia en la sociedad sobre el papel de la ciencia y la tecnología en el desarrollo económico, social y cultural de la nación” (DOF, 1984, p. 6).

⁷³ Formalmente se estableció como Plan Nacional de Desarrollo en este periodo, aunque el primer plan estratégico de gobierno se llamó Plan Sexenal y fue presentado por Lázaro Cárdenas para el período 1934 – 1940.

Es de particular atención la mención que se hace de un Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología. Ese sistema ya se había comenzado a delinear: Conacyt, instituciones de enseñanza superior, centros de investigación básica y aplicada, y empresas. De tal forma que el objetivo de estimularlo era fortalecer la vinculación entre ciencia básica y ciencia aplicada, así como explotar los beneficios de la actividad científica en la resolución de problemas nacionales.

Posteriormente, el PND 1989-1994 establece una distinción, todavía más profunda que la de los planes anteriores, sobre la CyT como elementos indispensables para el desarrollo:

“...debe reconocerse que, en tanto el desarrollo tecnológico tiene como impulso básico la búsqueda de beneficios económicos apropiables por empresas o instituciones, la ciencia persigue generar conocimientos de utilidad pública. Resulta indispensable, por tanto, hacer una distinción entre los objetivos y las estrategias que habrán de procurar las políticas gubernamentales en ciencia y en tecnología, sin que ello implique apoyar el desarrollo de una en detrimento de la otra” (DOF, 1989, p. 32 - 2ª sección).

La visión de política para promover el desarrollo tecnológico del país era alinearse a cambios que tenían que ver con el aumento de la productividad y de la competitividad para la recuperación del crecimiento económico. En esta materia el objetivo fundamental era inducir una rápida y eficaz modernización tecnológica del aparato productivo nacional:

El fortalecimiento científico y tecnológico es urgente y debe ser muy acentuado en los próximos años, dada la necesidad de continuar impulsando la participación eficiente de la economía mexicana en la internacional, y la inconveniencia e imposibilidad de mantener indefinidamente la competitividad del aparato productivo sobre la base de insumos y mano de obra baratos. El crecimiento futuro de la productividad y, por lo tanto, de los salarios reales, dependerá crucialmente de la modernización tecnológica del país (DOF, 1989, p. 31-2ª sección).

De acuerdo con el PND 1989-1994, la modernización requiere de las contribuciones de la actividad científica y tecnológica en el desarrollo nacional. Por lo tanto, la ciencia no debería valorarse como proceso supeditado a los requerimientos cotidianos de las actividades económicas, sino por su contribución a largo plazo. En el marco de este PND, Conacyt publica el Programa de Ciencia y Modernización Tecnológica (PCyMT) 1990-1994, que tenía como objetivo central:

“contribuir a crear las condiciones e incentivos que impulsen a las unidades productivas que configuran la economía mexicana a integrarse a los procesos mundiales de cambio tecnológico, y hacer de la innovación tecnológica un elemento central de su estrategia para competir con ventaja en el cambiante contexto de la economía mundial (Conacyt, 1988, p. xv)”.

Por ello, se propuso dar apoyo gradual y sostenido al monto de recursos públicos que inciden en la actividad científica, con la finalidad de incrementar la cantidad y la calidad de los recursos humanos⁷⁴ y la infraestructura. De acuerdo con el Plan, esto atraería recursos privados a la resolución de problemas vinculados al desarrollo nacional de largo plazo. La estrategia estuvo acompañada de un fuerte apoyo a la creación de grupos de investigación multidisciplinarios, así como promover convenios de cooperación entre universidades nacionales e internacionales con la finalidad de descentralizar la actividad científica.

Respecto a la política tecnológica, el PND consideraba necesario:

“... actuar en todos los frentes para alcanzar una eficiente actualización tecnológica de la industria, el campo y los servicios. La política tecnológica, que hasta ahora ha enfatizado el aspecto de investigación y desarrollo, habrá de diversificarse hacia los campos de adquisición, asimilación, adaptación y difusión eficientes de tecnología. La vinculación explícita de las estrategias e instrumentos de la política tecnológica con los requerimientos del aparato productivo nacional constituirá el elemento crucial de la modernización en este ámbito (DOF, 1989, p. 32 - 2ª sección).

Para incentivarlo, se estableció financiamiento a la modernización tecnológica de las empresas del país con base en esquemas de crédito y de capital ágiles, flexibles y técnicamente rigurosos; se propuso un aumento de los flujos de inversión extranjera directa, considerada un vehículo efectivo para la adquisición de tecnología avanzada, y una modernización del régimen de normalización y control de calidad de productos, de tal manera que se constituyese en un factor de estímulo a la adquisición, asimilación y desarrollo de tecnología y evitando que se convirtiera en un instrumento no arancelario de protección comercial.

En el siguiente sexenio, el PND 1995-2000 se consideró que la acumulación y el uso del conocimiento es más importante que las dotaciones de recursos naturales para determinar las ventajas comparativas y la acumulación de riqueza de las naciones (DOF, 1995). En este PND, sin embargo, se da un mayor peso a la actividad tecnológica por sobre la ciencia. Incluso, se da especial atención al sector productivo privado:

“Es imprescindible que el Gobierno asuma un papel catalizador en áreas donde el mercado no existe o funciona insatisfactoriamente, como en el caso del acopio y diseminación de información, la introducción inicial de nuevas tecnologías, y el financiamiento en investigación y desarrollo. También es fundamental que se reconozca que la mejora

⁷⁴ El Sistema Nacional de Investigadores había sido creado Por Acuerdo Presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación el 26 de julio de 1984, para reconocer la labor de las personas dedicadas a producir conocimiento científico y tecnología. Una de las causas que dieron origen a este programa fue incentivar la repatriación de científicos en el extranjero, así como evitar la denominada “fuga de talentos”.

tecnológica y el incremento en productividad corresponden principalmente al sector privado y sólo habrá resultados importantes si este sector lleva a cabo su parte de la tarea. De ahí que sea necesario inducir al sector privado a realizar un mayor esfuerzo tecnológico, que incluya la investigación y el desarrollo” (DOF, 1995, p. 86 - 2ª sección).

Uno de los argumentos más recurrentes es el de elevar la productividad. El PND diagnosticaba un pequeño grupo de pocas empresas con tecnologías modernas y un sector tradicional con muchas pequeñas empresas con rezago tecnológico. En estos términos, se planteaba una gran dispersión en la eficiencia productiva entre empresas y sectores de la economía. De acuerdo al documento, la infraestructura tecnológica era lo suficientemente desarrollada, pero poco hacía por apoyar el aumento de la productividad. Además, se argumentaba que los centros públicos y privados dedicados a la I+D eran escasos en relación con la importancia económica del país, y que su productividad era insatisfactoria respecto a las necesidades de los sectores productivos. Se determinó que México no estaba haciendo un uso eficaz del enorme potencial que significan las nuevas tecnologías en informática, en nuevos materiales y en biotecnología. Como alternativa, se propuso mejorar los mecanismos de coordinación para la planeación y presupuestación de la política tecnológica a través del establecimiento de un foro de coordinación entre el sector privado, los centros de investigación y el gobierno. Bajo la concepción del conocimiento como fuente de riqueza y bienestar, se buscaría la difusión y promoción de la CyT, el impulso al desarrollo de la metrología, las normas y los estándares, y se impulsará la inversión privada en centros de pruebas, control de calidad y modernización. Además, se daba un fuerte impulso a la incursión de la iniciativa privada en la actividad científico-tecnológica del país, mediante el fortalecimiento de la infraestructura de los centros del sector público y privado, a través de apoyos financieros y un tratamiento tributario adecuado (garantía de créditos y de capital de riesgo), así como una mayor inversión privada en investigación tecnológica a través de mecanismos financieros y fiscales, y la promoción de un mercado para este tipo de investigación (DOF, 1995).

Con el inicio del siglo XXI el gobierno puso a la competitividad como uno de los criterios básicos para el desarrollo. Se buscarían las condiciones para que las empresas, pudieran adaptarse a las nuevas tecnologías, procesos productivos y la revolución digital. El PND 2001-2006 reconoce un proceso de convergencia tecnológica a nivel mundial, y busca insertar al país en él para lograr un salto cuantitativo y cualitativo como nación, así como aprovechar las oportunidades del avance tecnológico para superar los rezagos que enfrenta

el país (DOF, 2001). Con este propósito, se estableció como objetivo la creación de mecanismos para que los avances de la CyT se orientaran a atender problemas prioritarios de alimentación, salud, educación, pobreza y medio ambiente. El 30 de abril de 2002 se publicó la Ley de Ciencia y Tecnología, y el Programa Especial de Ciencia y Tecnología (PECyT) 2001-2006 la utilizó como su fundamento principal. Este PECyT se propuso como meta que la inversión nacional en Investigación y Desarrollo Experimental (IDE) alcanzara el 1 por ciento del PIB para el año 2006, considerando que el Gobierno Federal invertiría el 60 por ciento de ese monto, y el sector productivo privado el 40 por ciento. Ello suponiendo una tasa media anual promedio del 5 por ciento de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) (DOF, 2002), lo que nunca sucedió. A pesar de que la ley buscó fortalecer el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología (SNCyT) al incluir tres instancias de coordinación y consulta: el Consejo General de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación (CGICDTI); la Conferencia Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, y el Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C. (FCCyT),⁷⁵ se reconoce que, hasta entonces, el SNCyT era un agregado de instituciones de los diversos sectores (público federal y estatal, comisiones de CyT del Congreso, sector académico, privado, social y externo), pero no operaba como sistema, ya que prácticamente en todos los casos faltaba una adecuada institucionalización de las relaciones y flujos de información entre ellos.

De acuerdo con el PECyT, no había un Gabinete de CyT, por lo tanto, no había unidad de procesos de planeación, programación y evaluación; no existía un presupuesto nacional de CyT con orientación estratégica y programática; no había movilidad para los investigadores entre las instituciones, ni se tenía una entidad que planificara, presupuestara y coordinara el gasto federal de una manera integral (DOF, 2002). El Conacyt operaba sólo una fracción pequeña (13 por ciento) del gasto federal en este campo, sin posibilidad de realmente orientar la política científica y tecnológica, además de que al estar sectorizado no es un instrumento directo del Ejecutivo. A pesar de todo ello, en la concepción política de este gobierno, un SNCyT, debería:

“Fomentar el desarrollo científico y tecnológico del país apoyando la investigación científica

⁷⁵ El Foro Consultivo es el órgano autónomo de consulta permanente del Poder Ejecutivo Federal, del CGICDTI y de la Junta de Gobierno del Conacyt. Desde sus inicios, en 2002, ha colaborado con el Poder Legislativo, a través del trabajo coordinado con las comisiones de Ciencia y Tecnología del Senado de la República y de la Cámara de Diputados, y otras encargadas de temas como educación, competitividad, presupuesto y administración pública (FCCyT, s/f).

de calidad, estimulando la vinculación academia-empresa y la innovación tecnológica en las empresas, así como impulsando la formación de recursos humanos de alto nivel” (DOF, 2002, p. 45).

Es decir, el refuerzo de la vinculación academia-empresa y su articulación a través de las políticas de CyT. Para ello, el Plan impulsó de manera primordial los objetivos de formar una política de estado en CyT; incrementar la capacidad científica y tecnológica del país, y elevar la competitividad y la innovación de las empresas.

Debe tenerse en cuenta que de 1981 a 2011 México creció, en promedio, a una tasa anual de 2.4 por ciento, mientras que Chile y Corea se expandieron anualmente en 4.9 y 6.2 por ciento, respectivamente. De acuerdo con los diagnósticos de los PND, el bajo crecimiento del país se debe a la reducida productividad de nuestra economía. Por lo tanto, impulsar la competitividad a través de la innovación tecnológica era una tarea primordial. El PND 2007-2012 consideraba estratégico establecer condiciones para que México se insertara en la vanguardia tecnológica.

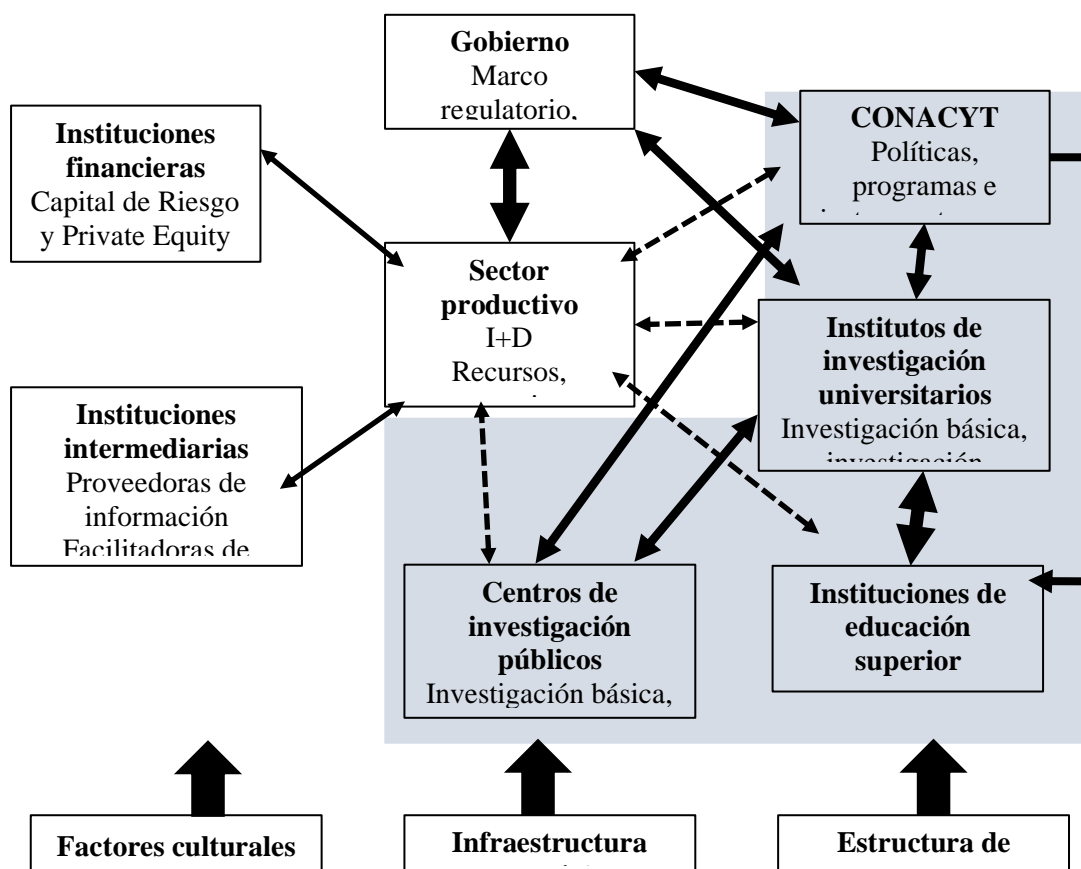
Por la naturaleza transversal del sector CyT, en los cinco ejes rectores del PND se identificaron estrategias para las actividades científicas, tecnológicas y de innovación. Esto se enfatiza especialmente en el eje rector 2 (Economía competitiva y generadora de empleos), objetivo 5 (Potenciar la productividad y competitividad de la economía mexicana para lograr un crecimiento económico sostenido y acelerar la creación de empleos), estrategia 5.5 (Profundizar y facilitar los procesos de investigación científica, adopción e innovación tecnológica para incrementar la productividad de la economía nacional) (DOF, 2007). Enmarcado en este PND, el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI) 2008-2012 siguió la misma tendencia que su antecesor. Incluso, un insumo importante en el proceso de elaboración del PECiTI fue el estudio elaborado por la OCDE sobre la Política de Innovación en México (*OECD Reviews of Innovation Policy: Mexico. Overall Assessment and Recommendations*). Una de las recomendaciones a las que se dio mayor énfasis fue la de fortalecer los programas de inserción de personal altamente calificado en el sector empresarial y facilitar la movilidad de los investigadores a la industria. Se buscaba dar mayor articulación al ahora Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) y el fortalecimiento de los sistemas estatales de CTI. Esto último se vio reflejado al cierre de 2008, cuando todas las entidades federativas contaban con un Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología. Estos consejos incorporaron actividades en materia de

ciencia, tecnología e innovación a través de los programas sectoriales 2007-2012. El capítulo 5 del PECiTI enfatiza la importancia de fortalecer la vinculación entre los sectores y el Conacyt a través de, al menos, 9 Programas:

- Programa Sectorial de Educación 2007-2012
- Programa Sectorial de Energía 2007-2012
- Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario y Pesquero 2007-2012
- Programa Sectorial de Salud 2007-2012
- Programa Sectorial de Medio Ambiente 2007-2012
- Programa Sectorial de Economía 2007-2012
- Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2007-2012
- Programa Sectorial de Marina 2007-2012
- Otros: SRE; SEDESOL; SEGOB y SECTUR.

En esta etapa, la política de CyT comenzó a tener logros notables, como el surgimiento de nuevos agentes y una nueva configuración del Sistema Nacional de Innovación (SNI). Se dio también un aumento en la cantidad de I+D financiada por el sector empresarial, así como desempeños exitosos en áreas específicas como energía, salud y medio ambiente gracias a los planes sectoriales (Dutrénit, 2010). Sin embargo, la articulación e interacción entre los agentes sigue siendo débil (figura 3.5).

Figura 3.5
Principales agentes y vinculaciones del sistema de innovación mexicano



NOTA: El grueso de las líneas indica la relevancia de los vínculos de colaboración. Las líneas punteadas señalan que los vínculos son irregulares y débiles. El área sombreada incluye sólo el subconjunto de agentes con vinculaciones fuertes y relevantes para el SNI en México. El sector productivo aún está fuera de esta área. Las IES realizan dos actividades críticas: investigación y formación de recursos humanos en ciencia y tecnología RHCT).

Fuente: ajustado desde Dutrénit, 2010

Tampoco hubo cambios significativos en el financiamiento público de la CyT. Lo que se fue denominando un SNCYT tiene como elemento común la interacción de una red extensa de agentes⁷⁶ que comparten información, conocimiento y fortalecen los procesos de aprendizaje. Además, una de las estrategias en materia de CyT en este periodo fue continuar con el proceso de apertura comercial y atracción de inversión extranjera directa, así como

⁷⁶ Los agentes más relevantes que lo conforman son: organismos e instituciones gubernamentales, centros e institutos públicos de investigación, instituciones de educación superior, empresas, instituciones intermedias e instituciones financieras (Dutrénit, 2010).

bajar los aranceles para adquirir maquinaria y equipo avanzados a menores costos (DOF, 2007). Sin embargo, en México el sector productivo ha funcionado (y funciona todavía) como un elemento separado del sistema.

El PND 2013-2018 reconoce en su diagnóstico que el sector empresarial históricamente ha contribuido poco a la inversión en I+D, situación contraria a la que se observa en otros países miembros de la OCDE, donde este sector aporta más del 50 por ciento de la inversión total en este rubro (DOF, 2013). El PND 2013-2018 sostiene que esta desarticulación del SNI se debe revertir al interior de la administración pública; para solucionarlo propone aumentar la disponibilidad de capital semilla o de riesgo para incentivar la generación de empresas con base tecnológica. Un elemento que este PND comparte con sus antecesores es la búsqueda de impulso a la articulación de los agentes y de los esfuerzos que realizan los sectores público, privado y social para incrementar la inversión en CTI; fortalecer el capital humano de alto nivel; promover el desarrollo emprendedor de las instituciones de educación superior y los centros de investigación, con el fin de fomentar la innovación tecnológica y el autoempleo entre los jóvenes; así como incentivar, impulsar y simplificar el registro de la propiedad intelectual entre las instituciones de educación superior, centros de investigación y la comunidad científica (DOF, 2013).

Desde la propuesta de creación de un SNCyT que congregara a distintos agentes para establecer líneas de acción en materia de CyT, la cantidad de participantes y su papel dentro del Sistema se ha ido consolidando hasta llegar a un modelo como el que se presenta en la Figura 3.6. Gobierno, universidades, centros de investigación, instituciones financieras y sector productivo participan de forma conjunta en el avance de la actividad científica y tecnológica del país.

Figura 3.6
Principales instituciones del SNI mexicano

Agentes gubernamentales

- CONACYT
- Secretaría de Educación Pública (SEP)
- Secretaría de Economía (SE)
- Secretaría de Energía (SENER)
- Comisiones de Ciencia y Tecnología del Congreso (cámaras de Diputados y Senadores)
- Red Nacional de Consejos e Instituciones Estatales de Ciencia y Tecnología (RENACECYT)
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP)

Centros e institutos públicos de investigación

- CPI-CONACYT (27)
- Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)
- Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)
- Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)
- Instituto Nacional Forestal, Agropecuario de Amilenticación y Pesca (INIFAP)
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)
- Instituto Nacional de Cardiología (INC)

Centros de investigación en las IES

- CINVESTAV (centros de investigación)
- UNAM (centros e institutos de investigación)
- UAM (departamentos y áreas de investigación)
- IPN (centros e institutos de investigación)
- BUAP (centros de investigación)
- INNSZ (Instituto Nacional de Nutrición SZ)

IES (producción de conocimiento y formación de recursos humanos en ciencia y tecnología)

- UNAM (licenciaturas, maestrías y doctorados)
- IPN ((licenciaturas, maestrías y doctorados)
- UAM (licenciaturas, maestrías y doctorados)
- BUAP (licenciaturas, maestrías y doctorados)
- UDG (licenciaturas, maestrías y doctorados)
- CINVESTAV (maestrías y doctorados)
- ITESM (licenciaturas, maestrías y doctorados)

Instituciones de financiamiento para la innovación

- CONACYT
- NAFIN
- Secretaría de Economía
- Bancomex
- Fundaciones Produce
- SHCP

Instituciones puente e intermediarias

- CONACYT
- IMPI
- Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCYT)
- Asociación de directores de Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico (ADIAT)
- RENACECYT
- Comisiones del Congreso para la ciencia y la tecnología

Otros Agentes

- Academia Mexicana de Ciencias

Fuente: ajustado desde Dutrénit, 2010

A pesar de que el SNI cuenta con instituciones en esencia equivalentes a las que participan en la mayoría de los sistemas de innovación de los países desarrollados, su funcionamiento es todavía débil en comparación con los más exitosos. Los diagnósticos de CyT de los PND fueron acertados y reconocieron con precisión los fenómenos internacionales de la innovación conforme fueron apareciendo. Sin embargo, la política pública en esta materia tiene como rasgo común, al menos en los últimos 30 años, la búsqueda de la competitividad de las empresas nacionales. Los procesos de innovación se darían por

adopción de tecnología importada, a través de la inversión extranjera directa. Los intercambios académicos propiciarían aprendizaje y capacitación del capital humano, y la implementación de programas como el Sistema Nacional de Investigadores serviría como incentivo para su repatriación. Los centros públicos de investigación colaborarían regionalmente para solucionar problemas nacionales y los planes sectoriales darían atención a sectores específicos de acción. En este contexto, la vinculación entre centros de investigación y empresas ha atendido, sobre todo, las demandas del sector privado.

Teniendo en cuenta que, al menos en la energía, hasta hace poco se tuvo la participación únicamente de dos empresas (Pemex y CFE), el desarrollo tecnológico se realizó para satisfacer las necesidades específicas de éstas EPE. Este marco impidió la competencia (tecnológica y productiva) con empresas energéticas de vanguardia. En el surgimiento de una nueva revolución tecnológica, las nanotecnologías comenzaron a despegar en México con el inicio del siglo XXI sin una estrategia pública de largo plazo. Debido a su carácter transversal, pueden aplicarse a cualquier industria. A continuación, se describen los elementos de política pública importantes que han moldeado su avance dentro del sector energético.

3.5 Nanotecnologías en el sector energético mexicano

Las nanotecnologías implican la manipulación de la materia en escala nanométrica; es decir, en dimensiones de entre 1 a 100 nanómetros (NNI, s/fb). 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.⁷⁷ Los nanomateriales ofrecen diferentes propiedades cuánticas que pueden ser explotadas en el desarrollo de aplicaciones industriales novedosas. Estamos frente un paquete habilitador que puede ser utilizado conjuntamente con otras tecnologías en diversas disciplinas y campos.

⁷⁷ 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, Mirkin, y Hersam, 2010).

A partir de ese potencial, varios países han creado planes nacionales o políticas públicas específicas para aprovechar las capacidades de las nanotecnologías. El primero fue Estados Unidos, que lanzó la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI), en 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 et al., 2010). El apoyo financiero a estas tecnologías no ha sido exclusivo de países desarrollados, también naciones emergentes en África, Asia y, desde luego, 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 estrategias muy similares ancladas en la competitividad vía innovación (Invernizzi & 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, & Záyago, 2012). Sin embargo, hasta la fecha, México no cuenta con una estrategia o iniciativa nacional que establezca rutas de acción, áreas prioritarias, esquemas de vinculación (investigación – producción) y tampoco un financiamiento plenamente identificable. Lo más próximo a una política pública específica es lo contenido en los Programas Especiales de Ciencia y Tecnología e Innovación (Cuadro 3.5). Una primera noción sobre las nanotecnologías se presentó en el PND de 1995, cuando se decía que México “no estaba haciendo un uso eficaz del enorme potencial que significan las nuevas tecnologías en informática, en nuevos materiales y en biotecnología” (DOF, 1995). Sin embargo, es en el PECyT 2001-2006 donde se hace mención explícita de las nanotecnologías como un área prioritaria del desarrollo, y de su necesaria vinculación directa con el sector energético.

Cuadro 3.5
Nanotecnologías en los planes de CyT de México

Plan	Mención a nanotecnologías
Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006 Tomo I	<p>El Programa Especial considera a las nanotecnologías como área prioritaria de desarrollo en el ámbito de los materiales avanzados:</p> <p>“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: 49).</p> <p>Hace especial énfasis en el potencial para el desarrollo del sector energético y en relación con el Instituto Mexicano del Petróleo:</p> <p>“Principales líneas de investigación [del Instituto Mexicano del Petróleo] Nanotecnología y sus aplicaciones” (Conacyt, 2002: 12).</p>
Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006 Tomo II	<p>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 (catálisis, 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:</p> <p>“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: 203)</p> <p>También se señala la necesidad de elaborar un Programa Nacional de Nanotecnologías:</p> <p>“Programa Nacional del área Materiales Avanzados.</p> <p>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: 192).</p> <p>Y una red de investigadores:</p> <p>“Cabe mencionar que el Conacyt está creando una Red de Nanociencias, considerando la atención a demandas específicas de las empresas” (Conacyt, 2001: 192).</p>
Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2012	<p>El Programa 2008-2012 únicamente hace referencia al carácter prioritario de las nanotecnologías:</p> <p>“Otros temas relevantes de fuerte dinámica y atención prioritaria son la biotecnología, la nanotecnología y los materiales” (Conacyt, 2008b).</p>
Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018	<p>En el programa de 2014-2018 se repite el carácter prioritario:</p> <p>“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: 51).</p>

Fuente: Foladori et al. (2015)

Como marco institucional, la Ley de Ciencia y Tecnología (LCyT) es otro instrumento normativo que acompaña a los PECITIs 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 (RNyN), instituida en 2009, se destinaron 700 mil dólares y actualmente cuenta con 453 investigadores (RNyN, s/f). 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 mdd cada uno (CONACYT, 2008). Hay muy pocas referencias concretas que especifiquen el total de financiamiento a las nanotecnologías en México. Algunos autores sugieren que se han invertido 60 mdd entre 2005 y 2010 (Takeuchi & Mora Ramos, 2011). Al realizar una primera revisión al Programa de Estímulo a la Innovación (PEI),⁷⁸ del Conacyt, encontramos que entre 2010 y 2017, se han otorgado al rededor de 50 mdd a proyectos de nanotecnologías.⁷⁹ Esto brinda una idea de su importancia en el contexto del financiamiento de la ciencia en México, pero muy alejada de lo que se destina en Estados Unidos, ya que en diecinueve años este país ha invertido cerca de 27 mil mdd (NNI, 2018).

Los procedimientos habilitados con nanotecnologías pueden mejorar la captación, generación, distribución y utilización de la energía (Hessen-NHMETURD, 2008). Por ejemplo, pueden mejorar la captura de luz en paneles solares, viabilizar la creación de enzimas en la producción de etanol, lograr baterías más livianas y potentes, perfeccionar la captación de calor, coadyuvar en la producción de materiales más resistentes y lograr mayor volumen en el transporte de energía (NNI, s/fa).

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-

⁷⁸ 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 (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2019).

⁷⁹ La cifra oficial es de: \$ 964, 191, 525 pesos mexicanos (MXN).

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 claro 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.

3.6 Financiamiento para nanotecnologías aplicadas a la energía en México⁸⁰

No existe un registro público sobre el monto de financiamiento a las nanotecnologías en México. El Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) junto con la Secretaría de Economía (SE) lanzaron, en 2008, el documento llamado “Diagnóstico y Perspectiva de la Nanotecnología en México”, donde daban cuenta:

“...del apoyo otorgado por el CONACYT entre 1998 y 2004 a 152 proyectos de investigación relacionados con la nanotecnología y que involucran a 58 instituciones de investigación, habiéndose erogado en ese periodo alrededor de 14.4 millones de dólares distribuidos en un 53 % para el área de materiales, 14 % a Química, 14 % a Electrónica, 12 % a Física y 7 % a otros” (CIMAV & SE, 2008, p. 16).

Otros autores sugieren que se invirtieron cerca de 710 millones de pesos (mdp) entre 2005 y 2010 (Takeuchi & Mora Ramos, 2011).⁸¹ Anzaldo et al., detectaron que, entre 2002 y 2011 el monto total asignado a las nanotecnologías ascendió a \$1,793 mdp,⁸² monto que ha sido considerado insuficiente para impulsarlas (Anzaldo et al., 2014). Las autoras identifican un crecimiento en el financiamiento durante la primera década del siglo XXI, cuando afirman que, en 2002, el monto asignado apenas superó los 30 mdp, mientras que en 2009 llegó a los casi 480 mdp (Anzaldo et al., 2014). Esto brinda una idea de su creciente importancia en el contexto del financiamiento durante las dos primeras décadas del siglo.

⁸⁰ Este apartado fue adaptado de un artículo en publicación: Arteaga Figueroa, Záyago y Foladori (2019). *Nanotecnologías aplicadas al sector energético en México. Revisión del financiamiento público otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*. En: *Relevancia social de las nanotecnologías en América Latina*. En prensa.

⁸¹ Al tipo de cambio promedio de 2011.

⁸² Al tipo de cambio promedio de 2014.

A pesar de que no hay un registro oficial del financiamiento público total, existe información de algunos proyectos clave. En 2008 se destinaron 40 mdp para la creación de dos laboratorios nacionales: el Laboratorio de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT) en San Luis Potosí; y el Laboratorio Nacional de Nanotecnología del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), en Chihuahua. Cada uno con un costo de 20 mdp (Conacyt, 2019d).⁸³ Un año más tarde se conformó la Red Nacional de Nanociencias y Nanotecnologías, a la que se destinaron cerca de 9.3 mdp, y que cuenta actualmente con 453 investigadores (RNyN, s/f). A partir de entonces, el rápido crecimiento de las nanotecnologías en el escenario mundial, que presiona para su replicación en otros países, y la ausencia de una estrategia pública han vuelto cada vez más difícil recolectar información sobre el avance de estas tecnologías.

El Conacyt es la entidad encargada de promover el desarrollo de la investigación científica y tecnológica tendiente a la innovación, a fin de impulsar la modernización tecnológica del país (Conacyt, 2019e). Además, se encarga de la planeación y distribución de gran parte del presupuesto federal para CTI en México. Para este apartado se revisaron los montos otorgados por el Conacyt a la I+D en nanotecnologías durante el periodo 2004-2018, a través de los Fondos y Apoyos dirigidos a las universidades e instituciones de educación superior públicas y particulares, centros de investigación, laboratorios, empresas públicas y privadas y demás personas que se encuentren inscritas en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT).⁸⁴ Esos programas destinados al crecimiento, fortalecimiento y vinculación del sector de la ciencia, la tecnología y la innovación se clasifican en seis categorías:

- Fondos Sectoriales
- Fondos Mixtos (Fomix)
- Fondos Institucionales

⁸³ Hacia finales del 2006, el Conacyt emitió dos convocatorias, la primera enfocada a apoyar la creación de laboratorios nacionales y la segunda para la elaboración de megaproyectos en áreas estratégicas, considerando en ambos casos a las NTs. En el primer caso se apoyó a dos centros Conacyt para la instalación de dos laboratorios nacionales de nanotecnología y en el segundo, a cinco instituciones con \$100 mil pesos en cada caso. (CIMAV-SE, 2008, p.16).

⁸⁴ Para poder recibir financiamiento del Conacyt la institución o persona debe estar registrada en el RENIECYT.

- Apoyos Institucionales ⁸⁵
- Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) ⁸⁶
- Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología (EFIDT)⁸⁷

Para ubicar los proyectos financiados se revisaron las convocatorias de estas categorías.⁸⁸ A partir del título, los objetivos y la información disponible de cada proyecto financiado se seleccionaron los que específicamente tuvieran relación con el sector energético y se organizaron en bases de datos que presentan el monto de recursos públicos destinados a esta área (anexo capítulo 3).⁸⁹ Se buscaron todos los proyectos que tuvieran en su área de investigación las nanotecnologías, a través de los operadores de búsqueda **nano and *energ*; **nano and *energy or *energetic*. Posteriormente, se seleccionaron aquellos que estuvieran enfocados en energía a través de la detección de las palabras clave propuestas en la metodología. Además, se revisaron combinaciones de las palabras descritas en cada caso; y, para confirmar que efectivamente se tratara de proyectos aplicados a la energía se revisaron los títulos, la descripción y los resultados de cada proyecto.

Entre el 2004 y el 2018 se financiaron 25 proyectos de nanotecnologías para la energía en México, por un monto de \$295 mdp provenientes de todos los fondos públicos del Conacyt. El estado de Nuevo León concentró la mayor cantidad de proyectos financiados, con diez. Se trata de un resultado esperado si se considera que es la sede de varias empresas y universidades que trabajan con nanotecnologías en el único *cluster* especialmente realizado

⁸⁵ Este programa de financiamiento no cuenta con un padrón o lista de beneficiarios disponible en el portal de Conacyt, por lo que no figura en el apartado de resultados.

⁸⁶ El PEI es un programa dirigido a empresas mexicanas inscritas en el RENIECYT que realicen actividades de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en el país de manera individual o en vinculación con Instituciones de Educación Superior públicas o privadas nacionales y/o Centros e Institutos de Investigación públicos nacionales. Busca incentivar, a nivel nacional, la inversión de las empresas en actividades y proyectos relacionados mediante el otorgamiento de estímulos complementarios, de forma que estos apoyos tengan el mayor impacto posible sobre la competitividad de la economía nacional.

⁸⁷ A través de estos fondos el Conacyt interactúa con las Secretarías de Estado, los Gobiernos Estatales y las Entidades Federativas, como con las instituciones del ámbito académico y científico, las organizaciones de la sociedad civil y las empresas privadas que integran el sistema científico-tecnológico de México (Conacyt, 2019c, p. n.d.).

⁸⁸ Sólo en los casos de Fomix y Fondos Sectoriales la información se encuentra disponible desde el 2004. Para el EFIDT sólo se han publicado resultados de los ejercicios 2017, 2018 y 2019, mientras que para el PEI la información se encuentra únicamente de 2009 a 2019.

⁸⁹ Es probable que existan otros programas o mecanismos de financiamiento para NTs aplicadas a la energía; sin embargo, debido a que la información que presenta Conacyt no está sistematizada, no se pudieron captar.

para esta actividad. La mayoría de los proyectos están dentro del Programa de Estímulos a la Innovación.

Los estados de Baja California y Chihuahua se beneficiaron con tres proyectos cada uno. Baja California es la sede del Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, y ha recibido uno de los apoyos de mayor cuantía, obteniendo el único fondo institucional para nanotecnologías por algo más de 55 mdp; por su parte, Chihuahua es sede de uno de los laboratorios Nacionales de Nanotecnología y todos los financiamientos que recibió fueron de Fondos Mixtos, mayoritariamente otorgados a convenios entre el Conacyt y centros de investigación.

El Estado de México y Guanajuato recibieron financiamiento por dos proyectos. El caso del Estado de México uno de los proyectos es el que más recursos recibió de todos los fondos de Conacyt para nanotecnología, con poco más de 147 mdp, lo que representa casi el 50 por ciento de todos los fondos entregados. Sumado a esto, está el hecho de que aquel monto fue otorgado al más importante centro universitario y de investigaciones privado del país (ITESM-CEM), y el recurso fue orientado a investigaciones en hidrocarburos en consorcio con centros científico-académicos de Estados Unidos y Canadá; siendo que México tiene nacionalizado el petróleo y cuenta con un instituto público de investigación en el tema con importante arraigo científico y tecnológico (IMP).

Otros cinco estados recibieron financiamiento por un proyecto de investigación. Debe advertirse que esta distribución geográfica de los recursos por estado no es necesariamente indicativa de un desarrollo local correspondiente. Muchos de estos fondos fueron otorgados a centros de investigación que tienen alcance nacional.

Cuadro 3.6
Financiamiento del Conacyt para nanotecnologías aplicadas a la energía en México
por entidad federativa 2004- 2018 (millones de pesos)

Entidad	Cantidad de proyectos financiados	M\$	% por estado
Baja California Norte	3	59.6	20.2
Campeche	1	6.0	2.0
Chihuahua	3	2.6	0.9
Estado de México	2	147.3	49.9
Guanajuato	2	3.0	1.0
Hidalgo	1	7.7	2.6
Nuevo León	10	38.6	13.1
Puebla	1	0.3	0.1
Querétaro	1	12.3	4.2
Sonora	1	18.6	6.3
TOTAL	25	296.0	100.3

Fuente: elaboración propia con datos de Conacyt (2019a)

Los fondos antes señalados corresponden a varias modalidades implementadas por Conacyt. En lo que sigue se hará una breve referencia a las diferencias entre ellos.

Fondos Sectoriales

Los Fondos Sectoriales son Fideicomisos que las Dependencias y Entidades conjuntamente con el Conacyt constituyen con el objeto de destinar recursos para la investigación científica y el desarrollo tecnológico en un ámbito sectorial específico (energía, agua, medio ambiente, salud, educación, población, seguridad, agricultura y desarrollo rural, defensa nacional) (Conacyt, 2019c). Se consultaron las convocatorias de los Fondos que tienen relación directa con el sector energético: Fondo Sectorial para Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energía (CFE-Conacyt); Fondo Sectorial Conacyt - Secretaría de Energía - Hidrocarburos (Conacyt-Sener / Hidrocarburos); Fondo Sectorial Conacyt - Secretaría de Energía - Sustentabilidad Energética (Conacyt-Sener / Sustentabilidad Energética); Fondo de Innovación Tecnológica (FIT), y Convocatoria de Investigación Científica Básica (SEP-Conacyt / Investigación Básica).

Entre 2004 y 2019 se otorgó financiamiento a únicamente dos proyectos para nanotecnología en energía, entre 2009 y 2018.

Fondos Mixtos

Los Fondos Mixtos (Fomix) apoyan el desarrollo científico y tecnológico estatal y municipal, a través de un Fideicomiso constituido con aportaciones del Gobierno del Estado o Municipio, y el Gobierno Federal, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, 2019b). En este caso se revisaron las convocatorias de Fomix de todos los estados de la República. El programa Fomix ha financiado seis proyectos de nanotecnología relacionados con energía entre 2004 y 2018.

Fondos Institucionales

A la fecha se han constituido cuatro Fondos Institucionales: Fondo Institucional (Foins),⁹⁰ Fondo de Cooperación Internacional en Ciencia y Tecnología (Foncicyt),⁹¹ Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (Fordecyt)⁹² y Fondo para el Fomento y Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica en Bioseguridad y Biotecnología (Fondo Cibogem).⁹³ El único financiamiento para nanotecnologías en energía en esta categoría se encontró en el Fordecyt, en 2016, y la institución beneficiada fue el Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN) de la UNAM en Baja California.

Programa de Estímulos a la Innovación

Entre 2009 y 2018 se han otorgado fondos a 17 proyectos de nanotecnología en energía. La mayoría de las empresas beneficiadas tienen sede en el estado de Nuevo León.

⁹⁰ El Foins tiene, entre sus principales objetivos: apoyar la creación, desarrollo o consolidación de grupos de investigadores y centros de investigación, así como para otorgar estímulos y reconocimientos a investigadores y tecnólogos, en ambos casos asociados a la evaluación de sus actividades y resultados (Conacyt, 2019c).

⁹¹ EL Foncicyt fue creado para atender las actividades de la agenda internacional que permitan crear y fortalecer las relaciones de México con sus principales socios en el plano de la ciencia, la tecnología y la innovación (Conacyt, 2019c).

⁹² El Fordecyt tiene, entre sus fines, promover acciones científicas, tecnológicas y de innovación, así como la formación de recursos humanos especializados que contribuyan al desarrollo regional, a la colaboración e integración de las regiones del país, y al fortalecimiento de los sistemas locales, estatales y regionales de ciencia, tecnología e innovación (Conacyt, 2019c).

⁹³ El Cibogem tiene como objetivo el otorgamiento de apoyos y financiamientos para actividades directamente vinculadas a la investigación científica, al desarrollo tecnológico y a la formación de recursos humanos especializados, así como al desarrollo de actividades que den cumplimiento a la Ley de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM).

Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología

El programa de Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología (EFIDT) consiste en otorgar un estímulo a través de un crédito fiscal al contribuyente que realice gastos e inversiones en IDT; es acreditable contra el Impuesto Sobre la Renta (ISR) de los contribuyentes y puede ser ejercido en un periodo de 10 años, hasta agotarlo (Conacyt, 2019a). No se trata de una transferencia directa sino de una exención fiscal.⁹⁴ En el caso de las NTs, ninguno de los proyectos tuvo relación directa con el sector energético.

Tres fuentes de financiamiento -sectorial, mixto, e institucional- son dirigidas, preferentemente, a instituciones de investigación. La mayoría de ellas son instituciones públicas. Pero, en recursos recibidos ocurre precisamente lo contrario. Sólo una institución privada, el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) ha recibido aproximadamente 143 mdp, frente al resto de las instituciones públicas de investigación que obtuvieron 72 mdp aproximadamente entre media docena. Es claro que el privilegio a nivel de investigación ha sido dirigido al sector privado. Si a esos 143 mdp se le suman los 80 del fondo de innovación que son todos para empresas privadas, resulta que en torno del 76 por ciento del financiamiento de Conacyt para nanotecnologías en todos los fondos ha sido hacia el sector privado.

Llama la atención la ausencia de la participación de empresas públicas en los fondos de estímulos a la Innovación; ya que estas tienen la gran ventaja de poder establecer más fácilmente cadenas verticales de producción y consumo, lo cual podría darle a la innovación un papel estratégico en ciertas áreas del desarrollo (petróleo, electricidad, salud, educación), a la cuales no tiene condiciones de acceder la empresa privada que requiere de acuerdos de mercado, siempre fluctuantes, para asegurar cadenas de producción en sentido vertical.

Debe advertirse que muchas aplicaciones básicas de investigación en centros públicos pueden ser realizadas para su aplicación por empresas privadas. Así, por ejemplo, el Fondo Institucional otorgado al CNyN con 55 mdp (aproximadamente) se orienta a investigar

⁹⁴ Existen únicamente dos proyectos que recibieron este estímulo, ambos en el ejercicio 2017. El primero fue de \$0.46 mdp y lo recibió SIEMENS S.A. de C.V. por el “Desarrollo de Polímero nano-estructurado”. El segundo lo obtuvo la empresa Investigación Farmacéutica, S.A. de C.V., por el “desarrollo y validación de una innovadora formulación nanotecnológica de fentermina: una alternativa para el tratamiento del sobrepeso y obesidad”, por un monto de \$1 mdp (Conacyt, 2019a).

mecanismos para elaboración de dispositivos industriales, como los necesarios en el sector electrónico.

Otra cuestión a tener en cuenta es el sector de aplicación de los fondos. Interesa resaltar, en este caso, si se trató de beneficiar energías renovables y menos contaminantes o energías establecidas con base en hidrocarburos o electricidad (de variadas fuentes). Aquí la distinción es clara en favor de los hidrocarburos. De los 295 mdp otorgados el 48 por ciento fue destinado a esta fuente de energía. Si se agrega el sector eléctrico, el porcentaje asciende a 56 por ciento, contra algo menos de un 9 por ciento destinado a energía solar y fotovoltaica (no hay proyectos financiados para energía eólica en nanotecnología). La mayor parte de los fondos destinados a energía solar y fotovoltaica fue distribuida entre empresas privadas.

México decidió, a inicios de este siglo, destinar recursos humanos y financieros al desarrollo de nanotecnologías como áreas estratégicas. Desde los Planes Estatales de Ciencia, Tecnología e Innovación ha buscado fomentar la participación de universidades y centros públicos de investigación con empresas, a través de la creación de *spin-offs*. La ausencia de una iniciativa nacional de nanotecnologías ha provocado vacíos de información en diferentes aspectos. Tener información sobre lo que se financia, investiga, patenta, y produce permite encaminar recursos públicos hacia la resolución de problemas sociales, evita la duplicidad de esfuerzos y de presupuestos, permite un mejor diseño de las políticas de CyT, así como encadenarlas con otros sectores prioritarios.

Conclusiones

Históricamente, la política energética nacional ha estado fuertemente apoyada en los hidrocarburos. Es necesario considerar que, si bien la industria es altamente dependiente de la tecnología, el cambio o transición a energías renovables no es únicamente un cambio tecnológico. Es también un cambio económico, político y social que no se ha logrado debido a condiciones internas y externas que han determinado la dependencia de los recursos naturales no renovables para financiar el desarrollo.

Por otro lado, también de forma histórica, la actividad científico tecnológica ha sido poco reconocida como un elemento del desarrollo. Los presupuestos asignados a I+D no han logrado superar el 0.6 por ciento del PIB. Además, el funcionamiento de un SNI se ha dado

sin la mejor vinculación entre la academia y la industria. La política mantiene su estatus de pública, por lo que las estrategias y planes nacionales de CyT pueden modificar objetivos cada periodo de gobierno.

En México, el avance de las nanotecnologías se ha dado sin una política pública específica. Existen, además, pocos datos sobre el financiamiento específico que se ha dado a esta actividad. Sin embargo, ya se han destinado recursos humanos y financieros para su desarrollo. Para el caso específico de la energía, el funcionamiento simultáneo de la política energética y de CyT ha logrado moldear, a través de objetivos y fideicomisos comunes, una dinámica de innovación que ya ha arrojado patentes y productos nanohabilitados en el mercado. El tránsito hacia energías renovables aparece en el discurso internacional como una necesidad urgente por frenar el cambio climático y reducir las emisiones de dióxido de carbono en el ambiente. Sin embargo, el propósito de esta transición radica en la necesidad de buscar alternativas a una fuente energética que disminuye en cantidad y calidad.

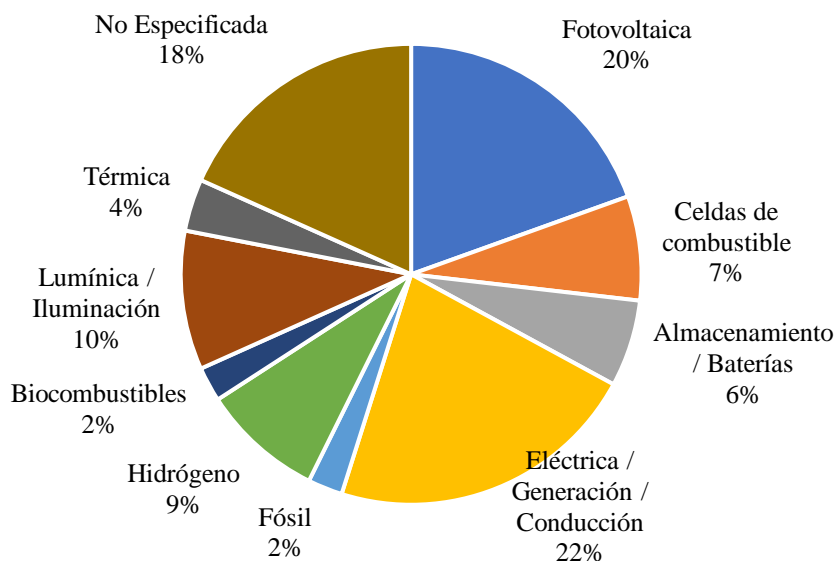
CAPÍTULO 4. CAPACIDADES NANOTECNOLÓGICAS DEL SECTOR ENERGÉTICO EN MÉXICO

Este capítulo presenta los resultados de la investigación y muestra el estado actual de las nanotecnologías aplicadas al sector energético en México, desde la I+D hasta las patentes y dispositivos disponibles en el mercado. El estudio se realizó a partir de un análisis bibliométrico de publicaciones científicas, datos sobre los grupos de investigación en el tema, un catálogo de patentes y, finalmente, una descripción de las empresas mexicanas que producen instrumentos y dispositivos para generar, almacenar o volver eficiente el uso final de la energía.

4.1 Publicaciones de nanotecnologías para la energía en México

El análisis bibliométrico arrojó 158 publicaciones realizadas entre 2000 y 2019 y con al menos un autor adscrito a alguna 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 tratan sobre energía eléctrica (generación y conducción), con 18; 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 4.1 muestra la distribución porcentual de los artículos encontrados en la WoS.

Gráfico 4.1
Distribución porcentual de las publicaciones sobre aplicaciones de nanotecnologías a la energía en México



Fuente: elaboración propia

Los artículos fueron elaborados por al menos el autor principal adscrito a una universidad o centro público de investigación mexicano. Se encontraron publicaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); el Instituto Politécnico Nacional (IPN); la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL); la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP); el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), la Universidad Autónoma Metropolitana (Unidad Iztapalapa); el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

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 Nanostructures; Physical Chemistry Chemical Physics; Superlattices and Microstructures; Acta Microscopica; 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 Materiale (Romanian Journal of Materials).

La mayor parte de las publicaciones que hablan de aplicaciones de nanotecnologías en la energía en el país han dedicado la mayor parte de sus esfuerzos 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 muy limitada.

4.2 Proyectos de investigación de 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 las palabras clave de la metodología. 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 pidió al motor de búsqueda organizar los resultados por institución. Se detectaron 173 CA que contenían la palabra "nano" en sus áreas de investigación. De ellos, se revisaron todas las Líneas Generales de 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 (Cuadro 4.1). De ellos, 16 trabajan con energías fotovoltaicas (33 por ciento); 5 con celdas de combustible (10.4 por ciento); 5 almacenamiento/baterías (10.4 por ciento), y 5 de tecnologías para hidrógeno (10.4 por ciento); 3 CA investigan biocombustibles (6.25 por ciento); 2 energía fósil (4.16 por ciento); 1 CA investiga energía eléctrica (2 por ciento) y, otro más, energía eólica (2 por ciento). Hay 10 proyectos (20.8 por ciento) 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 (UANL) es la que tiene más CA investigando sobre el tema, con 6. Le siguen la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) (5); la Universidad de Guadalajara (UDG) (3); la Unidad Querétaro, del CINVESTAV (3); las Universidades Politécnica de Tlaxcala (UPTLAX) y Politécnica de Guerrero (UPGRO) (3); los Institutos Tecnológicos de Tijuana (ITTIJ) y Toluca (ITTOL) (2); las Universidades Autónomas de Querétaro (UQRO), del Estado de Hidalgo (UAEH) y Guanajuato (UG) (2); y los Institutos Tecnológicos de Cancún (ITCAN), Oaxaca (ITOAX), Superior de Cajeme (ITESCAJ), Ixtapaluca (ITESIXTA), las Universidades Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO), Autónoma de Aguascalientes (UAA) y Autónoma de Coahuila (UACOAH), San Luis Potosí (UASLP), el Carmen (UNACAR), Morelos (UAEM), del Istmo (UNISTMO), Universidad Politécnica del Valle de Toluca (UPVT) y la Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla (UPMP) con 1 proyecto, respectivamente.

Cuadro 4.1
Cuerpos Académicos investigando aplicaciones de nanotecnologías para la energía

INSTITUTO / CENTRO	Fotovoltaica	Celdas de combustible	Almacenamiento / Baterías	Electricidad / Generación / Conducción	Fósil	Hidrógeno	Biocombustibles	Hidráulica	Lumínica / Iluminación	Eólica	No Especificada	TOTAL
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)	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 (ITCAN)				1								1
Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITOAX)						1						1
Instituto Tecnológico de Tijuana (ITIJ)	1	1										2
Instituto Tecnológico de Toluca (ITTOL)	1					1						2
Instituto Tecnológico Superior de Cajeme (ITESCAJ)											1	1
Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca (ITESIXTA)					1							1
Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO)						1						1
Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA)	1											1
Universidad Autónoma de Coahuila (UACOAH)			1									1
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)	1	1	1								3	6

Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ)											2	2
Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP)	1											1
Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR)											1	1
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH)	1										1	2
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEMOR)			1									1
Universidad de Guadalajara (UDG)	2		1									3
Universidad de Guanajuato (UGTO)	2											2
Universidad del Istmo (UNISTMO)							1					1
Universidad Politécnica de Pachuca (UPPACH)	1										1	2
Universidad Politécnica de Tlaxcala (UPTLAX)	1				1					1		3
Universidad Politécnica del Estado de Guerrero (UPGRO)	1	1				1						3
Universidad Politécnica del Valle de Toluca (UPVT)							1					1
Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla (UPMP)							1					1
TOTAL	16	5	5	1	2	5	3	0	0	1	10	

Fuente: elaboración propia

4.3 Proyectos de investigación de Universidades y centros públicos (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 (7 centros). Posteriormente se revisaron las líneas de investigación y proyectos vigentes de todos los investigadores adscritos a los 30 centros UNAM utilizando las palabras clave de la metodología. Después, se ubicaron aquellos proyectos directamente relacionados con el sector energético. La mayor parte se encontraron en el área de Ciencias Físico-Matemáticas, donde las energías renovables están ocupando un lugar importante. La UNAM cuenta con 34 proyectos (Cuadro 4.2) que se distribuyen, según la aplicación, de la siguiente manera: energía fotovoltaica, 9 (26.47 por ciento); celdas de combustible, 6 (17.64 por ciento); electricidad/generación/conducción, 6 (17.64 por ciento); no especificada 4 (11.76 por ciento); almacenamiento/baterías, 2 (5.88 por ciento); fósil, 2 (5.88 por ciento); hidrógeno, 2 (5.88 por ciento); lumínica / iluminación, 2 (5.88 por ciento); hidráulica, 1 (2.94 por ciento).

El Instituto de Energías renovables (IER) cuenta con 8 proyectos; el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA), 6; el Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN), 5; el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) Instituto de Química (IQ-UNAM), (4); Instituto de Física (IF-UNAM), 3; Instituto de Ciencias Nucleares (ICN-UNAM), 2; Instituto de Ciencias Físicas (ICF-UNAM) e Instituto de Ingeniería (II-UNAM), 1 cada uno.

Cuadro 4.2

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	Lumínica / 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

En el cuadro 4.3 detallamos la información sobre los centros de investigación del Instituto Politécnico Nacional (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.⁹⁵ 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 Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV).

Se encontraron 37 proyectos de investigación. La energía fotovoltaica, concentra la mayor parte, con 17 proyectos (45.9 por ciento). Le siguen las tecnologías de hidrógeno, y electricidad /generación /conducción, con 4 cada una (10.8 por ciento); celdas de combustible y lumínica / Iluminación, 3 respectivamente (8.1 por ciento); almacenamiento/baterías, 2 (5.4 por ciento), y energía fósil, biocombustibles y eólica, 1 respectivamente (2.7 por ciento). Únicamente 2 en proyectos no se especificó una categoría (5.4 por ciento).

La Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA), lidera la investigación de nanotecnologías aplicadas a la energía, con 7 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 5 proyectos cada respectivamente. El Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) Unidad Legaria, el Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIITEC) y el Centro Mexicano para la Producción más Limpia (CMP+L), tienen 4 proyectos cada uno. La Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) –Culhuacán y la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractiva (ESIQIE), 3 proyectos cada una. El Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías (CNMN) y el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada – Querétaro, 1 proyecto respectivamente.

En el caso del CINVESTAV (Cuadro 4.4), hay 10 proyectos de investigación sobre el tema. En la mitad de los proyectos no se especifica su área de aplicación. Existen 4 proyectos de energía eléctrica, en el Departamento de Ingeniería Eléctrica (Sección

⁹⁵ Disponibles en la página: <https://www.ipn.mx/posgrado/conocenos/directorio-centros.html>

Electrónica del Estado Sólido), y un proyecto para celdas de combustible en la Unidad Saltillo.

Cuadro 4.3

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	Lumínica / Iluminación	Eólica	No Especificada	TOTAL
Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías (CNMN)	1											1
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) Unidad Legaria						4						4
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) Unidad Altamira	4			1								5
Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIITEC)	1								3			4
Centro Mexicano para la Producción más Limpia (CMP+L)	1		1		1						1	4
Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA)	4	1					1				1	7
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) - Culhuacán	2		1									3
Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM)	3	2										5
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada - Querétaro	1											1
Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractiva (ESIQIE)				3								3
TOTAL	17	3	2	4	1	4	1	0	3	0	2	

Fuente: elaboración propia

Cuadro 4.4

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	Lumínica / 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

El cuadro 4.5 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 9 proyectos de investigación sobre el tema. En este caso, 3 son de energía fotovoltaica y 3 de electricidad / generación / conducción; 2 de almacenamiento / Baterías, y 1 proyecto no especificado. De ellos, el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) tiene 2; y la Universidad de Sonora (UNISON), la Universidad Politécnica De Francisco I. Madero, la Universidad Tecnológica De Tula – Tepeji, Universidad de Montemorelos A. C., el Instituto Tecnológico Superior Progreso, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente A. C. y el Instituto Tecnológico de Hermosillo tienen un proyecto cada uno.

Cuadro 4.5
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	Lumínica / Iluminación	Eólica	No Especificada	TOTAL
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM)				2								2
Universidad de Sonora (UNISON)				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 A. C.											1	1
TOTAL	3	0	2	3	0	0	0	0	0	0	1	

Fuente: elaboración propia

4.4 Proyectos de investigación de centros Conacyt

Se revisó el Directorio de Centros de Investigación Conacyt.⁹⁶ Se encontraron 29 centros divididos en 5 coordinaciones: Materiales Manufactura Avanzada y Procesos Industriales (7 centros); Física y Matemáticas Aplicadas y Ciencia De Datos (6 centros); Medio Ambiente, Salud y Alimentación (8 centros); Política Pública y Desarrollo Regional (4 centros), y Procesos de la Sociedad y la Cultura (4 centros). Posteriormente, se revisaron las líneas de investigación, los proyectos y los Currículum Vitae Único (CVU) de cada investigador al interior de todos los centros para determinar 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 por ciento), celdas de combustible e hidrógeno, 5 (12.8 por ciento) respectivamente; almacenamiento/ baterías, 3 (7.69 por ciento); fósil, 2 (5.12 por ciento); electricidad / generación / conducción y biocombustibles, 1 (2.56 por ciento) cada una; No Especificada, 6 (15.38 por ciento).

El Centro de Investigación en Materiales Avanzados A.C. (CIMAV) lidera la investigación en el tema, al concentrar 14 proyectos, 9 en la Unidad Chihuahua y 5 en la Unidad Monterrey (cuadro 4.6). Le siguen el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), 9; el Centro de Investigaciones en Óptica A.C. (CIO), 6; el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), 5; el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), 4; y el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), 1 proyecto.

⁹⁶ Disponible en:
<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/sistema-de-centros-de-investigacion/directorio-de-centros-de-investigacion-conacyt>

Cuadro 4.6
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	Lumínica / Iluminación	Eólica	No Especificada	TOTAL
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ)	3	3									3	9
Centro de Investigación en Materiales Avanzados A.C. (CIMA) Unidad Monterrey	3	1									1	5
Centro de Investigación en Materiales Avanzados A.C. (CIMA) Unidad Chihuahua	3	1	1		2	1					1	9
Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)				1								1
Centro de Investigaciones en Óptica A.C. (CIO)	4		1			1						6
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)	2		1			1					1	5
Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY)	1					2	1					4
TOTAL	16	5	3	1	2	5	1	0	0	0	6	

Fuente: elaboración propia

4.5 Empresas desarrollando productos nanohabilitados para energía

Existen empresas que desarrollan productos nanohabilitados para el sector energético en México. En este caso, se encontraron 9 compañías involucradas en actividades de I+D y producción sobre el tema (Cuadro 4.7). En las categorías mencionadas, hay 6 empresas desarrollando productos para energía eléctrica / generación / conducción; 3 que dedican esfuerzos a fotovoltaica; 1 a almacenamiento / baterías, y 4 sin especificar. Prolec GE, es una empresa localizada en Monterrey y, de acuerdo a 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 5 proyectos de nanotecnologías estén destinados a esta categoría. Las empresas Vitro, Tecno Procesos Aberi e IMR Solutions desarrollan materiales nanoestructurados para celdas solares. La empresa Proyectos Sustentables de la Península produce nanotubos endoedrales para aplicación en baterías de alta eficiencia, y R&D Research and Technology 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.

Cuadro 4.7
Empresas desarrollando productos con nanotecnologías para la energía

EMPRESA	Fotovoltaica	Celdas de combustible	Almacenamiento / Baterías	Eléctrica / Generación / Conducción	Fósil	Hidrógeno	Biocombustibles	Hidráulica	Lumínica / 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, S.A. DE C.V.	1											1
IMR SOLUTIONS S.A. DE C.V.	1											1
TOTAL	3	0	1	6	0	0	0	0	0	0	4	

Fuente: elaboración propia

4.6 Patentes y protección intelectual de nanotecnologías para la energía

Se consultaron las patentes de la World Intellectual Property Organization (WIPO),¹ de nanotecnologías aplicadas a la energía solicitadas y otorgadas en México. Se encontraron 133 patentes y se descartaron aquellas que no tuvieran relación directa con aplicaciones de nanotecnologías en energía. Los resultados arrojaron 15 patentes entre 2002 y 2016. El cuadro 4.8 muestra los registros por título, número de solicitud y empresa o inventor solicitante.

Cuadro 4.8
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 ²	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 ³	19.06.2015	2013015406	Pinturas Thermicas del Norte S.A. de C.V.

¹ Disponibles en:

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

² Descripción de la patente donde especifica el uso de nanotecnologías: “The present invention comprises a viscosifier for oil well fluids, said viscosifier comprising a cross-linked micro- or nano-fibrillated cellulose (MFC)”.

³ Descripción de la patente donde especifica el uso de nanotecnologías: “The present invention shows the methods for preparing and synthesizing polymeric materials in emulsion or mini aqueous emulsion, as well as the method for using the same for encapsulating phase change materials, which result in products in emulsion with a high capacity of absorbing heat, with particle sizes ranging from 100 nm to 50,000 nm (50Um), with the purpose of being used in the development of coatings of high thermal and solar reflectivity”.

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 grafiticas 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 ⁴	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 ⁵	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

⁴ Descripción de la patente donde especifica el uso de nanotecnologías: "... High efficiencies are achieved using nanocomposite thermoelectric materials. Evenly but thinly dispersing the thermoelectric segments in a matrix of highly insulating material reduces the amount of material required for the segments without sacrificing performance. A unitary construction of the solar cell and thermoelectric elements provides further advantages".

⁵ Descripción de la patente donde especifica el uso de nanotecnologías: "Además, un método para secuestrar dióxido de carbono en una formación comprende las etapas de inyectar CO₂ en el depósito, inundar con CO₂ presurizado frío para la remoción de calor, infiltrar con partículas de catalizador suspendidas de baja densidad ultrafinas de hidróxido de sodio seco en CO₂, bombear el CO₂ humedecido con agua en el depósito para activar los catalizadores, enlazar el CO₂ con materiales reaccionantes y tapar el depósito".

14	Celda de energía de microondas, reactor químico y convertidor de energía ⁶	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

Se consultaron las patentes de nanotecnologías aplicadas a la energía en la Gaceta de la Propiedad Industrial del IMPI.⁷ Se encontraron 25 registros utilizando las palabras clave descritas en la metodología. Después de una revisión detallada, se descartaron seis elementos que no están directamente relacionadas con el sector energético. El cuadro 4.9 sintetiza esta información, se muestra el título, registro, inventor y titular de las 19 patentes (para mayor detalle sobre la descripción de cada registro véase anexos del capítulo 4).

Cuadro 4.9
Patentes de nanotecnologías para la energía registradas y concedidas en el IMPIs

No.	Título	Fecha de concesión	Registro	Inventor / Titular
1	Generador de neutrones de tritio-tritio y método de registro	05/12/2018	MX 361393 B	Juan Navarro-Sorroche [Es] / Halliburton Energy Services, Inc. [Us]
2	Sistema y método de electrohilado por burbuja con alta velocidad de flujo para la obtención de nanofibras	14/12/2018	MX 361754 B	Isaen Berenice Dzul Bautista [Mx] / Universidad Autónoma De Nuevo León [Mx]
3	Sensor para detectar subproductos de descomposición de gas sf6 y aparato eléctrico	31/10/2018	MX 361425 B	Alberth Pascacio De Los Santos [Mx] / Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias [Mx]
4	Composición para la mejora de la resistividad del suelo utilizando nano partículas grafiticas y su proceso de manufactura	31/10/2018	MX 361427 B	Isaías Ramírez Vázquez [Mx] / Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias [Mx]
5	Proceso de manufactura de compuestos aislantes reforzados con nano partículas	31/10/2018	MX 361426 B	Isaías Ramírez Vázquez [Mx] / Instituto Nacional

⁶ Descripción de la patente donde especifica el uso de nanotecnologías: “Esta invención se refiere a una fuente de energía y/o convertidor de energía. La fuente de energía comprende una celda para la catálisis del hidrógeno atómico para formar una nueva especie de hidrógeno y/o composiciones de material que comprende nuevas formas de hidrógeno. La reacción puede iniciarse y/o mantenerse mediante una microonda o plasma de hidrógeno de descarga luminosa y una fuente de catalizador. La energía del catalizador del hidrógeno puede convertirse directamente en electricidad desde sus formas o energía de contribución para el plasma”.

⁷ Disponible en: <https://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/principal.jsf>

⁸ Se presenta sólo el primer inventor y el titular. Para más detalles sobre la ficha técnica del IMPI véase los cuadros 4.1-4-19 en el Anexo del capítulo 4.

	con mayor resistencia a la erosión y carbonización aplicables en ambientes de alta contaminación y el compuesto resultante.			de Electricidad y Energías Limpias [Mx]
6	Diferenciación en el fondo del pozo de filtrados a base de aceite y petróleo ligero mediante RMN con nanopartículas oleofílicas	28/11/2018	MX 361132 B	Magdalena Sandor [Us] / Halliburton Energy Services, Inc. [Us]
7	Generador de neutrones de fuente de iones de nanoemisores	09/10/2018	MX 359737 B	Juan Navarro-Sorroche [Es] / Halliburton Energy Services, Inc. [Us]
8	Proceso para obtener nanocompuestos poliméricos con conductividad térmica mejorada	2018-10-19 (fecha de puesta en circulación)	MX/a/2017/00 3330	Ana Lilia Izábal Carvajal [Mx] / Centro De Investigación En Química Aplicada [Mx] (Solicitante)
9	Oxidación de hidrogeno y generación sobre película de carbono	2018-09-28 (fecha de puesta en circulación)	MX/a/2013/00 6868	University of Florida Research Foundation, Inc. (Solicitante)
10	Célula solar sensibilizada por colorante con nanotubos de carbono dopado con nitrógeno	2018-08-31 (fecha de puesta en circulación)	MX/a/2013/01 1221	Bayer Intellectual Property GmbH (solicitante)
11	Matrices de nanotubos de carbono alineados verticalmente como electrodos	23/10/2017 (fecha de presentación)	MX/a/2017/01 3648	Abdul- Rahman O. Raji [Ng]; / William Marsh Rice University [Us] (solicitante)
12	Miembro absorbente de energía	19/06/2018	MX 356916 B	Mark M. Mleziva [Us] / Kimberly-Clark Worldwide, Inc. [Us]
13	Dispositivo óptico para incrementar la emisión de luz útil en fuentes electroluminiscentes, mediante la retroreflexión selectiva de las longitudes de onda de alta energía de dicha luz emitida	2018-06-29 (fecha de puesta en circulación)	MX/a/2016/01 5395	Enrique Capilla Bermúdez [Mx] / Optical Saver Technologies, S.A.P.I. De C.V. [Mx] (solicitante)
14	Dispositivos opticoanalíticos con detectores de nanomaterial basados en capacitancia	2018-06-29 (fecha de puesta en circulación)	MX/a/2018/00 4276	Aditya B. Nayak [In] / Halliburton Energy Services, Inc. [Us]
15	Proceso para la síntesis de nanocompuestos poliméricos híbridos con grafeno a partir de óxido de grafito mediante polimerización por microondas	2018-06-29 (fecha de puesta en circulación)	MX 356158 B	Beatriz Liliana España Sánchez [Mx] / Centro De Investigación En Química Aplicada [Mx]
16	Composiciones y métodos de tratamiento de pozos utilizando nanopartículas	27/04/2018	MX 355755 B	D. Chad Brenneis [Us] / Halliburton Energy Services Inc. [Us]
17	Procesador térmico para plaquitas semiconductoras	2018-05-02 (fecha de puesta en circulación)	MX 208140 B	General Electric Company
18	Proceso de obtención de nanopartículas de carbono por medio de pirólisis de biomasa con deposición química de vapor	28/02/2018	MX 354407 B	Rosa Del Carmen Miranda Guardiola [Mx] / Universidad Autónoma De Nuevo León [Mx]

19	Fibras de poliéster renovables que tienen una baja densidad	14/02/2018	MX 354160 B	Ryan J. Mceneany [Us] / Kimberly-Clark Worldwide, Inc. [Us]
----	---	------------	-------------	---

Fuente: elaboración propia

Tres de las 19 patentes son del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, dos de la UANL, una del CIQA y el resto son de empresas y agencias extranjeras. Además, aun cuando los inventores son de España, Nigeria o India, la titularidad se la adjudicaron los Estados Unidos.

Se consultaron, también, las patentes del IMP, disponibles en la página: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/patentes-del-imp>. Entre 1967 y 2014 hay 1042 patentes; la primera patente de nanotecnología se presentó en 2002 y la concesión se logró en 2006. Después de filtrar aquellas que fuesen exclusivamente de nanotecnologías, se encontraron 14 patentes concedidas entre 2006 y 2018. El cuadro 4.10 presenta los resultados por fecha de presentación, de concesión y de caducidad, así como el título de la patente.

Cuadro 4.10
Patentes de nanotecnologías del IMP

No.	País	Fecha presentación	Fecha concesión	Fecha de caducidad	Patente Nano (Título)
1	US	25/07/02	28/02/06	25/07/22	Material sintético mesoporoso con nanotubos radialmente ensamblados
2	MX	18/12/01	31/03/08	18/12/21	Proceso para la obtención de catalizadores de paladio soportados en óxidos mixtos nanocristalinos de CeO ₂ , ZrO ₂ y CeX Zr 1-XO ₂
3	MX	26/04/02	31/03/08	26/04/22	Proceso para la obtención de catalizadores de cerio y litio soportados en óxidos mixtos nanocristalinos básicos tipo hidrotalcitas
4	US	04/05/05	13/11/09	04/05/25	Material de óxido de titanio nanoestructurado y procedimiento para su obtención
5	MX	04/05/04	16/03/10	04/05/24	Material de óxido de titanio nanoestructurado y procedimiento para su obtención
6	US	23/11/09	21/09/10	04/05/25	Material de óxido de titanio nanoestructurado y procedimiento para su obtención
7	US	02/08/10	31/12/13	04/05/25	Material de óxido de titanio nanoestructurado y procedimiento para su obtención
8	MX	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	US	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	US	20/06/13	16/01/17	20/06/33	Titania nanoestructurada TSG-IMP para procesos catalíticos
11	MX	21/06/12	13/03/17	21/06/32	Material semiconductor de titania nanoestructurada y proceso de obtención
12	US	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	US	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	US	20/06/13	13/04/18	20/06/33	Material semiconductor de titania nanoestructurada y proceso de obtención

Fuente: elaboración propia

Como se dijo anteriormente, se investigaron las patentes de los tres centros públicos de investigación en energía del país. Sin embargo, el INEEL y el ININ no tienen patentes de nanotecnologías aplicadas a la energía en sus portales de información.

Conclusiones

En el país hay 129 proyectos de investigación de universidades e instituciones públicas; de ellos, el 34.8 por ciento (45 proyectos) son sobre energías fotovoltaicas. El área de aplicación que le sigue es la energía eléctrica, con el 13.9 por ciento de los proyectos (18). Con este mismo número se encuentran los proyectos sin clasificación (No Especificada). Muy cerca están las celdas de combustible, con el 11.62 por ciento del total de proyectos (15), y las tecnologías de hidrógeno, con 8.5 por ciento (11 proyectos). Las tecnologías de almacenamiento tienen un 7 por ciento (9 proyectos); las energías lumínica y fósil 3.87 por ciento respectivamente (5 proyectos cada una); los biocombustibles 1.5 por ciento (2 proyectos), y la energía eólica únicamente con 0.77 por ciento (1 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 las baterías de alta duración.

En materia de propiedad intelectual, de las 15 patentes de la WIPO al menos 6 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 y se convierte en la institución más importante sobre el tema en materia de acumulación de conocimiento nanotecnológico para el sector energético.

Respecto a las nanotecnologías, queda claro que es necesario diseñar esquemas de política y 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 insumos 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 estas actividades. Además, buena parte de las empresas son trasnacionales con alguna sede operando en México. Lo mismo sucede con las patentes, si bien existen concesiones para los principales centros de investigación del país, los despachos jurídicos de las empresas trasnacionales mantienen las patentes en registro para sus empresas en el extranjero. La formación de capacidades nanotecnológicas no cubre las necesidades energéticas nacionales, sino las del mercado.

CONCLUSIONES GENERALES

Después de la Segunda Guerra Mundial, los Estados Unidos y sus aliados moldearon en sus agencias de ayuda internacional los instrumentos de dominación hegemónica que se mantienen vigentes hoy en día. Desde entonces, agencias como BM, FMI, OCDE, por mencionar a los más representativos, han etiquetado a los países como desarrollados y subdesarrollados; industrializados y no industrializados; ricos y pobres, y han recetado diversos programas con la finalidad de superar el “atraso”.

Estas ideas han sido diseñadas y promovidas por intelectuales de las universidades estadounidenses y europeas con mayor renombre. Apuntaladas por la teoría neoclásica y sus variantes, las estrategias de estos organismos se rigen por el argumento de que, al incrementar la producción material, el crecimiento derivará de forma automática en desarrollo. Los países que las adoptan se han articulado con las élites dominantes para crear acuerdos comerciales y establecer controles financieros para evitar o reducir el endeudamiento. Esto ha subordinado las condiciones socioeconómicas de los países periféricos a los intereses de los países en el centro de la acumulación, y ha modificado las condiciones productivas, de organización del trabajo y distribución de riqueza al interior de las naciones, afectando a quienes no cuentan con los medios que permitan emparejarse a los países más adelantados. Se trata de una agenda impuesta desde arriba, con una visión que deja al libre mercado la asignación de recursos estratégicos que hasta entonces permanecieron bajo control del Estado.

A pesar de la lluvia de propuestas y programas que se lanzaron desde estas agencias, la profundización de la pobreza y el incremento de la desigualdad siguen siendo temas pendientes. Existen regiones y países que todavía carecen de derechos y servicios fundamentales como agua, salud, educación, energía y seguridad alimentaria. Esto ha revelado la heterogeneidad de sus condiciones productivas y ha logrado el reconocimiento de múltiples dimensiones que conforman el desarrollo.

Sin embargo, como hemos planteado en el marco teórico, la postura neoclásica pierde de vista la distinción entre las relaciones técnicas y las relaciones sociales en el capitalismo.

Los enfoques evolucionistas (heterodoxos) realizan estudios descriptivos sobre los paradigmas de la innovación, pero tampoco toman en cuenta las leyes de acumulación del actual modo de producción. Estas teorías no explican la creación de valor nuevo y fetichizan los productos de la investigación, sin dimensionar objetivamente, de cara a las relaciones sociales, el papel de los científicos y trabajadores intelectuales. En el análisis desaparecen las explicaciones acerca de quién se apropia del conocimiento, cómo éste se convierte en una mercancía capaz de ser monopolizada y vendida, donde se media por la capacidad de compra de los agentes “racionales”. Lo anterior coloca a las naciones “atrasadas” en una posición de desventaja en el aprovechamiento de los frutos de la I+D. Se deja en manos de la libre oferta y demanda la producción de tecnología que, generalmente, es una tendencia que encabezan los países desarrollados.

Hemos argumentado que, con el inicio del siglo XXI, las nanotecnologías se convirtieron en la base de una nueva revolución tecnológica que está modificando las estructuras científicas y productivas, debido a su capacidad de insertarse en todos los sectores económicos. En las últimas dos décadas, los países desarrollados comenzaron a destinar recursos humanos y financieros para la I+D de estas tecnologías a través de diferentes medios como iniciativas nacionales, programas y partidas presupuestales específicas. Los países en “vías de desarrollo”, incluido México, las fomentaron a través de intercambios académicos, creación de redes locales y regionales, colaboraciones universidad-industria, rentas colectivas de equipo y proyectos de diagnóstico financiados por las agencias internacionales antes mencionadas.

A lo largo de este trabajo se analizó la formación de capacidades nanotecnológicas del sector energético en México, entendida como el proceso de asimilación, uso, adaptación y cambio de las nanotecnologías en la cadena de suministro energético. Con la finalidad de identificar la inversión física, capital humano y esfuerzo tecnológico realizado, se recopiló y sistematizó información de los agentes (gobierno, empresas, centros de investigación y universidades) que desarrollan, patentan y producen aplicaciones de nanotecnologías para la energía en el país. Lo anterior nos permitió saber quién produce el conocimiento científico sobre el tema; quién se lo apropia, cómo se materializa y a quién beneficia.

Para evaluar el cumplimiento de los objetivos retomamos la hipótesis, en la que articulamos las siguientes ideas:

En México, la formación de capacidades nanotecnológicas en el sector energético se realiza indirectamente a través de la interacción simultánea, pero no coordinada, de las políticas científico-tecnológica y energética. Este proceso se lleva a cabo en ausencia de una estrategia nacional de nanotecnologías y está supeditado a las grandes tendencias de I+D que marca la dinámica internacional.

En el capítulo 2 presentamos información sobre la promoción pública de las nanotecnologías en México, desde el 2002, a raíz de una mención en el PECyT y con la finalidad específica de fortalecer la industria petrolera, específicamente desde el IMP. Sin embargo, no se detalló un presupuesto específico y consistente, ni objetivos de aplicación concretos o vinculación entre sectores. Los mecanismos para fomentar el desarrollo nanotecnológico en el sector energético son fondos presupuestales, donde las Secretarías de Estado realizan convenios con centros de investigación (públicos y privados, dependiendo del fondo). Por su parte, la política de CyT ha destinado partidas específicas con la finalidad de atender problemas sociales, pero sin articular con las nanotecnologías. Tampoco han determinado cómo incluirlas o adaptarlas a un área estratégica ni una agenda de largo plazo para reforzar las estructuras productivas nacionales.

Todo ello en el marco del crecimiento mundial en la I+D de nanotecnologías, donde los países desarrollados comenzaron a marcar los ritmos en la nueva ola de innovación. Esta influencia ha provocado que las naciones atrasadas deban investigar lo que las hegemonías demandan, modificando las prioridades y alejando la mira de las necesidades sociales locales. En la hipótesis lo expresamos de la siguiente forma:

Los agentes que participan en la formación de estas capacidades (centros de investigación, universidades, gobierno y empresas) realizan actividades de I+D, protección intelectual y productos nanohabilitados con la finalidad captar mayores ganancias, en un escenario mundial donde la industria ha volcado esfuerzos hacia fuentes de energía alternativas y renovables.

La evidencia disponible muestra que el petróleo es la fuente de energía más utilizada por la humanidad. Sin embargo, al tratarse de un recurso no renovable, la preocupación por

su agotamiento es latente. En respuesta, se han aplicado técnicas de extracción y refinación de crudos poco convencionales (*fracking*), las cuales son controversial por sus efectos negativos sobre el medio ambiente. Si bien se argumenta que esto ha permitido mantener la demanda de hidrocarburos constante en los últimos años, también abre la posibilidad de que estas actividades sean utilizadas como instrumentos especulativos de las grandes empresas energéticas. Con ello, el descubrimiento y aplicación de tecnologías para la energía (independientemente de su fuente) es propenso a convertirse en negocio de unos cuantos.

La tendencia energética internacional está volteando hacia las fuentes de energía renovable, sobre todo solar y eólica. A través de la implementación de nuevos materiales para captación y almacenamiento, han logrado volverse más eficientes y baratas, lo que abre una alternativa amplia al uso de combustibles fósiles. El propósito detrás de esta transición es, por un lado, el control de recursos estratégicos; por otro, la obtención de ganancias en el abastecimiento de dispositivos novedosos que permitan sustituir a los hidrocarburos con la misma eficiencia de potencia actual. En la hipótesis continuamos con la idea:

La mayor parte de la I+D en aplicaciones nanotecnológicas para el sector energético se financia y se lleva a cabo al interior de entidades públicas. Sin embargo, respecto a países desarrollados, es muy poco lo que se materializa en patentes y productos.

El capítulo 3 muestra información sobre las principales investigaciones de nanotecnologías para la industria energética a nivel mundial. Encontramos que Estados Unidos y China compiten por controlar el mercado de estas aplicaciones. A pesar del liderazgo estadounidense, la brecha se ha reducido significativamente en los últimos años y ahora se enfrenta a los crecientes financiamientos de los asiáticos. Ambos países, junto con Japón, Corea y la Unión Europea dominan la I+D en el tema. Mientras que las naciones en desarrollo y subdesarrolladas están prácticamente ausentes del escenario internacional, incluyendo a México.

El capítulo 4 muestra los resultados de esta tesis, donde se puede comprobar una clara desarticulación entre lo que se investiga y lo que se patenta. La producción académica está enfocada en la energía solar y fotovoltaica; los proyectos de investigación mantienen la misma tendencia, pero se enfocan mayoritariamente en la conducción y almacenamiento, mientras que las patentes están concentradas en los hidrocarburos; y en el sector productivo,

las empresas fabrican aplicaciones para la electricidad. Esta forma de organización, regida por políticas que privilegian la elección de tecnologías por el mercado, se aleja de fijar objetivos que tengan como fin el desarrollo social. Esto se reafirma en la siguiente secuencia de nuestra hipótesis:

La formación de estas capacidades se enmarca en un proceso histórico-estructural de desarrollo desigual entre las distintas regiones y entidades del país. Esto origina, por un lado, atraso respecto a las naciones líderes en el tema y, por otro, una desarticulación entre lo que se investiga, patentado y produce en México.

Los datos arrojan que, entre 2000 y 2019, se realizaron 158 publicaciones de nanotecnologías para la energía con al menos un autor radicado en México. La mayor parte de estos trabajos se concentran en las universidades más grandes del país: UNAM, IPN, UANL, IMP, UAM ITESM e ININ. Los proyectos de investigación están concentrados en estas mismas universidades y los centros Conacyt, sobre todo el CIMAV, en Chihuahua. Acerca del financiamiento, entre el 2004 y el 2018, el Estado de Nuevo León capturó el 40 por ciento de los recursos públicos destinados a esta temática, mientras que el ITESM se llevó más de la mitad del monto disponible en este mismo periodo de tiempo.

Existe un alto grado de concentración de la actividad científica y tecnológica sobre este tema en dos o tres ciudades, que mantienen esquemas de triple hélice para fomentar la innovación local y emparejarse con la dinámica mundial. Nuevo León, la Ciudad de México y Chihuahua, y en menor medida San Luis Potosí, Jalisco y Querétaro participan en la I+D de nanotecnologías aplicadas a la energía. Por el contrario, los estados más pobres, entre ellos Oaxaca, Chiapas, Guerrero y Zacatecas tienen, paradójicamente, un destacado potencial energético solar y eólico. Sin embargo, sus condiciones de infraestructura, recursos humanos y financieros no les permiten sostener el gasto requerido para desarrollar estas tecnologías a nivel local, regional o nacional. Esto amplía la brecha tecnológica y por lo tanto social al interior del país. Planteamos, además, que:

Debido a la ausencia de una estrategia de política pública amplia que conduzca la I+D hacia necesidades sociales y aspectos claves en el sector energético, junto con una política industrial que integre la actividad productiva con estos objetivos, los esfuerzos científicos y tecnológicos son condenados a perecer en su etapa más temprana.

Hemos mencionado que, cuando se habla de una nueva tecnología, surge la creencia de que esta logrará producir más y mejores objetos que permitirán satisfacer necesidades sociales. Sin embargo, esto no siempre es así. El problema radica en cómo enfocar el cambio tecnológico a problemas del desarrollo social en una economía que se rige por el mercado. Como respuesta argumentamos que la planificación es determinante en la producción y aplicación de tecnologías para el desarrollo. Con este trabajo detectamos elementos específicos en la desarticulación de las nanotecnologías con la energía al interior del país.

Una de las implicaciones más fuertes en los resultados de esta investigación es la apropiación privada de los recursos públicos. En particular, preocupa que el financiamiento para nanotecnologías proviene, en su mayoría, de los fondos Conacyt, que fueron destinados sobre todo a empresas privadas. Con ello, se les ha subvencionado una de las tareas más riesgosas, la I+D. Al mismo tiempo, se permite que oligopolios energéticos internacionales intervengan en la dinámica de innovación nacional, alterando la organización del trabajo científico y volcándolo a áreas que no son prioritarias en el sector. Esto abre paso a que el negocio de las energías renovables sea cooptado por unos cuantos, privando a la mayor parte de la sociedad de los beneficios potenciales de estas tecnologías.

Por lo tanto, con los resultados obtenidos podemos afirmar que los objetivos general y específico se cubrieron, y que la hipótesis se cumplió positivamente. Queda abierta la posibilidad de replicar y ampliar esta metodología para otros sectores clave en el desarrollo, como agua, salud y medio ambiente. Por supuesto, sin dejar de lado que el avance tecnológico es un proceso social, moldeado por las condiciones estructurales donde se desarrolla. Consideramos que la tesis arroja elementos que resultarán útiles a estudios posteriores que pueden complementarse con entrevistas, cuestionarios y encuestas aplicables a científicos, empresas y sociedad civil, a fin de conocer la percepción de los agentes sobre el impacto de las nanotecnologías en aspectos elementales del desarrollo.

ANEXOS

ANEXO CAPÍTULO 1

Se presentan las categorías, términos de búsqueda (palabras clave utilizadas) y los nanomateriales utilizados en los dispositivos nanohabilitados para cada tipo de energía. La información que se obtuvo de NanoNature (<https://nano.nature.com/>) aparece en *rojo y cursiva*. La información que se obtuvo de StatNano (<https://statnano.com/>) aparece en negro.

Cuadro 1.1
Estrategia de búsqueda para proyectos de investigación, productos y patentes de nanotecnologías aplicadas a los hidrocarburos (petróleo, gas natural, carbón) en México

Categorías a investigar	Palabras clave utilizadas	Nanomateriales utilizados
<ul style="list-style-type: none"> • Oils and Lubricants • Well Treatment • Coatings • Pipeline • Tooling/Drilling • Oil Exploration 	Nano + catalyst, refining catalyst, fluid catalytic cracking (FCC), thermoset composites, thermoplastic composites, composite pipes, pipe wrapping, offshore pipeline, onshore pipeline, drill plugs, frac balls, dielectric insulators, petrochemical process, heat transfer fluid, high temperature fluids, low temperature liquids, fuel, gasoline, petroleum, membrane, filtration, hydrophilic-oleophobic membrane, gas-oil separation package, oil-water separator, oily water separators (OWS), stage separator, trap, knockout vessel, knockout drum, knockout trap, water knockout, liquid knockout, flash chamber, flash vessel, flash trap, expansion separator, expansion vessel, photo electrolyte cell, sealing, seal materials, oil seals, lubricant, anti-corrosion fluid, corrosion inhibitor, passivation, drilling mud, anti-fouling, anti-corrosion paints, oil exploration, hydrocarbon exploration, nanorobots, nanosensors, cementation, well cementing, oil production, rotary cutting tool, enhanced oil recovery, tertiary recovery, well test, well logging, borehole logging, well completion, downhole tools, drilling motors drilling jars, motor optimizer, shock tools, data loggers, drilling tools, drilling accessories, well treatment, and enhanced oil recovery (EOR).	Disulfuro de tungsteno; Óxido de zinc; Óxido de cerio (IV); Óxido de estaño y antimonio; Dióxido de silicio; Diamante; Boro; Nitruro de boro; Arcillas orgánicas; Tungsteno; Plata; Disulfuro de molibdeno; Grafeno; <i>Disulfuro de tungsteno; Dióxido de silicio; Óxido de cobre (II); fosfuro de paladio; nanocadenas de óxido de zinc; Nanopartículas de sílice; Nanopartículas de óxido de zinc</i>

Fuente: elaboración propia

Cuadro 1.2
Estrategia de búsqueda para proyectos de investigación, productos y patentes
de nanotecnologías aplicadas a baterías en México

Categorías a investigar	Palabras clave utilizadas	Nanomateriales utilizados
<ul style="list-style-type: none"> • Lithium-ion Battery Cathode • Rail Guided Vehicle • Automated Guided Vehicle • Power Supply • Thermoelectric generator 	<p><i>Energy storage; Catalysis; Power generation; Electrodes/electrolytes; Electronics; Sensors (excluding biosensors); Diagnostics; Fuel cells; Tools/devices; Optoelectronics; Data storage; Environmental protection; Engineering; Filtration/bioseparation; Electronic paper; Electrodes; Membranes; Adsorbents/absorbers/ion exchange materials; Coatings; Raw materials/precursors/templates; Protection; Reinforced materials; Analysis methods; Heat transfer; Transport; Gas storage; Lasers; Photonics; Raw materials; Lighting devices; Electromechanical switching; Sensors; Magnetic materials; Building and construction; Refrigeration/heating; Nanofluidics/microfluidics; Polymers; Lubricant/hydraulic additives; Nanobiotechnology; Insulation; Pigments/inks/dyes; Adsorbents; Metal working tools; Nanoprinting/nanolithography; Precision optics; Robotics; Consumer goods; Petroleum industry; Glass; Adsorbent/absorbers/ion exchange materials; Display devices; Heavy industry; Nuclear technology; Pigments</i></p>	<p>Dióxido de titanio; Fluoruro de polivinilideno; Dióxido de silicio; Arseniuro de galio, Dióxido de titanio; Fulereno; Grafito; Grafeno; Óxido de manganeso; disulfuro de tantalio; óxido de manganeso de cobalto; carbono; platino</p>

Fuente: elaboración propia

Cuadro 1.3

Estrategia de búsqueda para proyectos de investigación, productos y patentes de nanotecnologías aplicadas a celdas de combustible en México

Categorías a investigar	Palabras clave utilizadas	Nanomateriales utilizados
<ul style="list-style-type: none"> • Fuel Cells Materials • Fuel Cell • Fuel Cell Electrolyte • Hydrogen Fuel Cell Catalyst • Fuel Cell Cathode Materials • Fuel Cell Anode Materials • PEM Membrane 	<p><i>Fuel cells; Catalysis; Energy storage; Power generation; Electrodes/electrolytes; Sensors (excluding biosensors); Optoelectronics; Diagnostics; Environmental protection; Medicine/veterinary; Electronics; Coatings; Analysis methods; Drug delivery; Implants; Disinfection; Tools/devices; Electrodes/electrolytes; Raw materials/precursors/templates; Electrodes; Engineering; Membranes; Photonics; Gas storage; Filtration/bioseparation; Lighting devices; Magnetic materials; Data storage; Electronic paper; Nanobiotechnology; Adsorbents/absorbers/ion exchange materials; Pigments/inks/dyes; Raw materials; Reinforced materials; Heat transfer; Polymers; Sensors; Ceramics; Lubricant/hydraulic additives; Transport; Nanofluidics/microfluidics; Refrigeration/heating; Insulation; Petroleum industry; Robotics; Pigments; Adsorbents; Glass; Adsorbent/absorbers/ion exchange materials; Lubricants; Nuclear technology</i></p>	<p>Paladio; Grafito; Circonio (IV); Carbono (nanopartículas); Cerio dopado con Gadolinio (IV); Fullerenos; Óxido de níquel y cobalto; Níquel; Óxido de níquel (II); Rodio; Nanotubo de carbono; Óxido de Cerio (IV) dopado con Samario; <i>Antracita; Ferrita de lantano; plomo; oro; Óxido de plata; Nitruro de níquel titanio; Plata; Cobalto; Iridio; Óxido de Rutenio</i></p>

Fuente: elaboración propia

Cuadro 1.4

Estrategia de búsqueda para proyectos de investigación, productos y patentes de nanotecnologías aplicadas a transmisión de energía en México

Categorías a investigar	Palabras clave utilizadas	Nanomateriales utilizados
<ul style="list-style-type: none"> • Connector • Cable • Insulator Coating • Insulator • Cable Insulation Composites • Dielectric • Monofilament 	<p><i>Analysis methods; Electronics; Photonics; Adhesives; Adsorbents/absorbers/ion exchange materials; Building and construction; Catalysis; Coatings; Electrodes; Electrodes/electrolytes; Electronic paper; Energy storage; Engineering; Environmental protection; Fuel cells; Gas storage; Glass; Heat transfer; Insulation; Membranes; Nanobiotechnology; Nanofluidics/microfluidics; Optoelectronics; Petroleum industry; Pigments/inks/dyes; Polymers; Power generation; Precision optics; Raw materials/precursors/templates; Sensors (excluding biosensors); Telecommunication; Tools/devices</i></p>	<p>Dióxido de titanio; Arcilla; Titanato de bario y estroncio; Plata; <i>Nanotubos de carbono de pared múltiple; Sulfuro de zinc; Plata; Arseniuro de galio</i></p>

Fuente: elaboración propia

Cuadro 1.5

Estrategia de búsqueda para proyectos de investigación, productos y patentes de nanotecnologías aplicadas a celdas solares en México

Categorías a investigar	Palabras clave utilizadas	Nanomateriales utilizados
<ul style="list-style-type: none"> • Solar Cell • Solar Shield • Solar Water Heater • Solar Charger • Inverter • Solar Pool Heater • Solar cell power plant • Solar Backpack • Solar Regulator • Solar Light System • Heat accumulating material 	<p><i>Power generation; Optoelectronics; Electronics; Energy storage; Electronic paper; Sensors (excluding biosensors); Lighting devices; Lasers; Catalysis; Telecommunication; Electrodes/electrolytes; Photonics; Tools/devices; Coatings; Raw materials/precursors/templates; Analysis methods; Environmental protection; Fuel cells; Sensors; Electrodes; Nanobiotechnology; Pigments/inks/dyes; Raw materials; Precision optics; Membranes; Adsorbents/absorbers/ion exchange materials; Magnetic materials; Engineering; Heat transfer; Polymers; Refrigeration/heating; Insulation; Nanofluidics/microfluidics; Electromechanical switching; Gas storage; Lubricant/hydraulic additives; Metal working tools; Consumer goods; Petroleum industry; Robotics; Glass; Adsorbents; Heavy industry; Nanofluidics; Pigments; Lubricants; Nuclear technology</i></p>	<p>Dióxido de titanio; Fluoruro de polivinilideno; Dióxido de silicio; Arseniuro de galio; Fullerenos; Grafito; Grafeno; <i>Óxido de zinc; Plata; Oro; Silicio; Seleniuro de cadmio; Sulfuro de cadmio; Estannato de zinc</i></p>

Fuente: elaboración propia

Cuadro 1.6

Estrategia de búsqueda para proyectos de investigación, productos y patentes de nanotecnologías aplicadas a energía eólica en México

Categorías a investigar	Palabras clave utilizadas	Nanomateriales utilizados
<ul style="list-style-type: none"> • Wind Turbine Lubricant • Wind Power Oil • Wind Turbine 	<p><i>Power generation; Electronics; Catalysis; Energy storage; Sensors (excluding biosensors); Electrodes/electrolytes; Optoelectronics; Environmental protection; Coatings; Electrodes; Photonics; Engineering; Raw materials; Reinforced materials; Adsorbents/absorbers/ion exchange materials; Polymers; Heat transfer; Magnetic materials; Lubricant/hydraulic additives; Electromechanical switching; Adhesives; Metal working tools; Nanofluidics; Heavy industry</i></p>	<p>Disulfuro de tungsteno; Dióxido de silicio; Óxido de cobre (II); <i>Óxido de indio dopado con estaño</i></p>

Fuente: elaboración propia

ANEXO CAPÍTULO 3

Financiamiento público de Conacyt para nanotecnologías en México

Cuadro 3.1

Proyectos y financiamientos según tipo de energía: hidrocarburos, eléctrica, solar y fotovoltaica, y otros (miles de pesos mexicanos)

No	Fondo	Clave del proyecto	Estado receptor	Hidrocarburos	Electricidad	Solar / fotovoltaica	Otros	Monto	Total /fondo
1	Fondos Sectoriales	120653 / Fondo Sectorial para Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energía CFE-Conacyt	Querétaro		Nuevas tecnologías en recubrimientos para aplicaciones en turbinas de vapor utilizadas en la generación de energía eléctrica			12,295	155,743
2		B-S-88638 / Fondo Sectorial Conacyt-Sener/Hidrocarburos	Estado de México	Plataforma Automatizada para el descubrimiento acelerado de materiales avanzados para el sector energía. Nodo internacional MAP-MEX				143,448	
3	Fondos Mixtos (Fomix)	BC-2007-C01-69363	Baja California Norte			Caracterización molecular computacional de nanómetros-nanomateriales moleculares electroluminiscentes y fotovoltaicos orgánicos		300	3,778

No	Fondo	Clave del proyecto	Estado receptor	Hidrocarburos	Electricidad	Solar / fotovoltaica	Otros	Monto	Total /fondo
4		CHIH-2006-C02-58660	Chihuahua				Efecto del dopado con metales de transición en LiMn2O4 nanoestructurado, en el desempeño como material del cátodo de baterías secundarias de ion-litio	247	
5		CHIH-2009-01-117835	Chihuahua			Aprovechamiento de la energía solar mediante el desarrollo de compuestos nanopartícula metálica-polímero para su uso como material activo en celdas fotovoltaicas		531	
6		CHIH-2009-02-127461	Chihuahua				Desarrollo y aplicación de nanopartículas metálicas soportadas sobre nanotubos de carbón en un stack de micro celda de combustible	1,800	
7		GTO-2007-02-69453	Guanajuato				Desarrollo de materiales nanoestructurados con aplicaciones a dispositivos de almacenamiento y transformación de la energía	600	

No	Fondo	Clave del proyecto	Estado receptor	Hidrocarburos	Electricidad	Solar / fotovoltaica	Otros	Monto	Total /fondo
8		PUE-2004-02-21	Puebla			Sensibilización de nanopartículas de dióxido de titanio con colorantes para uso como fotocatalizadores con energía solar		300	
9	Programa de Estímulos a la Innovación (PEI)	132582	Nuevo León (Prolec GE International S DE RL de CV)		Desarrollo y caracterización de nano fluidos para transformadores eléctricos			1,934	80,183
10		132789	Nuevo León (Prolec GE International S DE RL de CV)		Optimización de propiedades magnéticas a bajas frecuencias en aceros amorfos nanocristalinos			2,539	
11		133378	Nuevo León (Prolec GE International S DE RL de CV)		Síntesis de un nuevo material basado en nanorotores. Etapa 3. Aplicación de prototipos funcionales			1,419	
12		140016	Nuevo León (Prolec GE International S DE RL de CV)		Desarrollo de aisladores nanocerámicos de alta resistencia mecánica			1,453	
13		221003	Nuevo León (Prolec GE International S DE RL de CV)		Desarrollo de aisladores cerámicos nanoestructurados de alto desempeño. Etapa III - corrida piloto			1,655	
14		134206	Nuevo León (Magnekon SA de CV)				Proyectos del departamento de tecnología e innovación de Magnekon. Investigación en nanotecnología	1,519	

No	Fondo	Clave del proyecto	Estado receptor	Hidrocarburos	Electricidad	Solar / fotovoltaica	Otros	Monto	Total /fondo
15		137468	Sonora (RD Research & Technology SA de CV)				Arranque de laboratorio de MEMS con la implementación de procesos de semiconductores para la generación de dispositivos nanoelectrónicos a nivel de investigación y desarrollo	18,603	
16		158861	Guanajuato (Swordfish Energy SA de CV)			Caracterización y validación de una pintura termodinámica inteligente basada en nanotecnología como alternativa para eficientar los consumos energéticos en cualquier bien inmueble que parte de la estrategia científico-tecnológica de una MyPIME		2,367	
17		152586	Nuevo León (3G Herramientas Especiales SA de CV)				Fortalecimiento de capacidades tecnológicas para el prototipado de herramientas de fresado y microfresado de materiales avanzados. Etapa 2: laboratorio de recubrimientos nanoestructurados	16,015	

No	Fondo	Clave del proyecto	Estado receptor	Hidrocarburos	Electricidad	Solar / fotovoltaica	Otros	Monto	Total /fondo
							para aplicaciones médicas, aeroespaciales y de energía		
18		195632	Nuevo León (3G Herramientas Especiales SA de CV)				Laboratorio de prototipos de toberas con recubrimientos nanoestructurados para la industria aeroespacial, automotriz y de energía	3,917	
19		215952	Nuevo León (Vitro Vidrio y Cristal SA de CV)			Desarrollo de celdas solares con materiales nanoestructurados innovadores, depositados sobre sustratos de vidrio, utilizando tecnologías de vanguardia		2,856	
20		231326	Nuevo León (Vitro Vidrio y Cristal SA de CV)			Desarrollo de una nueva formulación de vidrio aplicando nanotecnología que presenta ventajas ecológicas y de ahorro energético		5,264	

No	Fondo	Clave del proyecto	Estado receptor	Hidrocarburos	Electricidad	Solar / fotovoltaica	Otros	Monto	Total /fondo
21		232258	Campeche (Proyectos Sustentables de la Península SA de CV)				Nanotubos endoedrales: aplicación en baterías de alta eficiencia	6,000	
22		232701	Hidalgo (Tecno Procesos Aberi SA de CV)			Nano-sun: formulación de materiales plásticos compuestos con nanoestructuras para uso en la elaboración de celdas solares		7,735	
23		240840	Baja California (IMR Solutions SA de CV)			Diseño y fabricación de celdas solares de tercera generación a base de compuestos nanoestructurados		3,057	
24		253409	México (AHE Alta Tecnología SA de CV)			Desarrollo de celdas solares que incorporan materiales plásticos nanocompuestos: Solari		3,849	
25	Fondos Institucionales	272 894 / 2016-01	Baja California				Micro y nanodispositivos para ahorro energético en la industria	55,200	55,200
	TOTAL			143,448	21,296	26,260	103,901		294,904

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes Conacyt (2019a)

ANEXO CAPÍTULO 4

Patentes de nanotecnologías para la energía registradas y concedidas en el IMPI

Cuadro 4.1

Gaceta: Patentes, Registros de Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Diciembre de 2018	Sección: Patentes
Oficina, No de Patente y Tipo de documento	MX 361393 B	
Tipo de documento	Patente de Invención	
Fecha de concesión	05/12/2018	
Número de solicitud	MX/a/2016/006368	
Fecha de presentación	16/05/2016	
Número de solicitud internacional	PCT/US2013/078482	
Fecha de presentación internacional	31/12/2013	
Número de publicación internacional	WO 2015/102615	
Fecha de publicación internacional	09/07/2015	
Inventor(es)	Juan NAVARRO-SORROCHE [ES]; Weijun GUO [CN]	
Titular	HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC. [US] ; 10200 Bellaire Boulevard, Houston, Texas, TX	
Agente	MARÍA ANGÉLICA PARDAVELL JUÁREZ [MX]; Ciudad de México, 03900, [MX]	
Clasificación CIP	G01V 5/10 (2006.01), E21B 49/00 (2006.01), G21G 4/02 (2006.01)	
Clasificación CPC	G01V 5/107 (2016.08); E21B 47/011 (2016.08); G21G 4/02 (2016.08); E21B 49/00 (2016.08)	
Título	GENERADOR DE NEUTRONES DE TRITIO-TRITIO Y METODO DE REGISTRO.	
Resumen	Una herramienta de registro de pozo incluye un generador de neutrones para generar y emitir neutrones energéticos usando de manera sustancialmente exclusiva una reacción de fusión de T-T. La herramienta de registro de pozo puede incluir instrumentación de medición para la medición y el registro de parámetros de la formación en función de la dispersión elástica en las formaciones subterráneas de neutrones emitidos por el generador de neutrones. El generador de neutrones puede tener una disposición concéntrica, en donde una estructura diana cilíndrica cargada con partículas de tritio se ubica de manera coaxial en un alojamiento cilíndrico alargado, donde los iones de tritio móviles se aceleran radialmente hacia el interior para que impacten con la estructura diana. La producción de los iones de tritio móviles se puede realizar mediante ionización de campo mediante el funcionamiento de una matriz de ionización de campo de nanoestructura.	
Fecha de Puesta en Circulación	2019-01-18	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=8161424	

Cuadro 4.2

Gaceta: Patentes, Registros de Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Diciembre de 2018	Sección: Patentes
Oficina, No de Patente y Tipo de documento	MX 361754 B	
Tipo de documento	Patente de Invención	
Fecha de concesión	14/12/2018	
Número de solicitud	MX/a/2015/015215	
Fecha de presentación	30/10/2015	
Inventor(es)	ISAEN BERENICE DZUL BAUTISTA [MX]; IVAN ELEAZAR MORENO CORTEZ [MX]; NETZAHUALPILLE HERNANDEZ NAVARRO [MX]; VIRGILIO ANGEL GONZALEZ GONZALEZ [MX]	
Titular	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON [MX] ; Av. Pedro de Alba S/N, Torre de Rectoría, Ciudad Universitaria, SAN NICOLAS DE LOS GARZA, Nuevo León, N.L.	
Agente	LORENA NOHEMÍ GONZÁLEZ PACHECO [MX]; Nuevo León, 66455, [MX]	
Clasificación CIP	D04H 1/728 (2012.01), B29B 7/30 (2006.01), D01D 5/08 (2006.01), D04H 1/70 (2012.01)	
Clasificación CPC	D01D 5/0061 (2016.08); B29B 7/30 (2016.05); D04H 1/728 (2016.05); D04H 1/70 (2016.05); D01D 5/082 (2016.05); D01D 5/0007 (2016.08)	
Título	SISTEMA Y METODO DE ELECTROHILADO POR BURBUJA CON ALTA VELOCIDAD DE FLUJO PARA LA OBTENCION DE NANOFIBRAS.	
Resumen	La presente invención se refiere a un sistema y método de electrohilado por burbuja con alta velocidad de flujo para la obtención de nanofibras. Los materiales nanofibrilares que se obtienen por este sistema y método presentan propiedades eléctricas para su aplicación en dispositivos electrónicos como almacenadores de energía, actuadores, memorias de forma, etc. Este sistema tiene una productividad mayor a 10ml/h, mucho mayor en comparación con métodos de electrohilado tradicional y permite obtener nanofibras de entre 30 y 600 nm, con un mayor contenido de fase cristalina (fase β) eléctricamente activa. Además, el método que utiliza dicho sistema permite obtener nanofibras de PVDF que presentan estabilidad térmica hasta 300 °C y un coeficiente -d33 de 100 pm/V. Lo que aunado a las propiedades intrínsecas de biocompatibilidad del material le confiere características óptimas para la fabricación de dispositivos tecnológicos.	
Fecha de Puesta en Circulación	2019-01-18	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=8161321	

Cuadro 4.3

Gaceta: Patentes, Registros de Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Diciembre de 2018	Sección: Patentes
Oficina, No de Patente y Tipo de documento	MX 361425 B	
Tipo de documento	Patente de Invención	
Fecha de concesión	31/10/2018	
Número de solicitud	MX/a/2013/011576	
Fecha de presentación	04/10/2013	
Inventor(es)	ALBERTH PASCACIO DE LOS SANTOS [MX]; LEONARDO REJON GARCIA [MX]; ROBERTO SANTANA MARTINEZ BETANCOURT [MX]	
Titular	INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍAS LIMPIAS [MX] ; Reforma No. 113, Col. Palmira, Cuernavaca, Morelos, Mor.	
Agente	NORBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ [MX]; Morelos, 62490, [MX]	
Clasificación CIP	G01N 27/00 (2006.01), B82Y 15/00 (2011.01)	
Clasificación CPC	G01N 27/021 (2016.08); B82Y 15/00 (2016.08)	
Título	SENSOR PARA DETECTAR SUBPRODUCTOS DE DESCOMPOSICION DE GAS SF6 Y APARATO ELECTRICO.	
Resumen	Un sensor para detectar la presencia de subproductos de descomposición de gas SF6, el sensor está formado por un circuito impreso con una estructura de electrodos interdigitados recubierto por un revestimiento resultante de una mezcla de 25% a 75% en peso de resina polimérica y de 25% a 75% en peso de nanotubos de carbono, tal que el sensor detecta la presencia de subproductos de descomposición de gas SF6 en tiempo real y de manera continua, y tiene una sensibilidad de 0.0025% a 0.05%. El sensor puede ser aplicado en un aparato eléctrico con aislante de gas SF6 para monitorizar la presencia en su interior de subproductos de descomposición de gas SF6.	
Fecha de Puesta en Circulación	2019-01-18	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=8160939	

Cuadro 4.4

Gaceta: Patentes, Registros de Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Diciembre de 2018	Sección: Patentes
Oficina, No de Patente y Tipo de documento	MX 361427 B	
Tipo de documento	Patente de Invención	
Fecha de concesión	31/10/2018	
Número de solicitud	MX/a/2013/003737	
Fecha de presentación	20/03/2013	
Inventor(es)	ISAÍAS RAMÍREZ VÁZQUEZ [MX]	
Titular	INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍAS LIMPIAS [MX] ; Reforma No. 113, Col. Palmira, Cuernavaca, Morelos, Mor.	
Agente	NORBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ [MX]; Morelos, 62490, [MX]	
Clasificación CIP	B82Y 30/00 (2011.01), C08K 3/00 (2006.01)	
Clasificación CPC	H01B 1/20 (2016.08); B29C 70/02 (2016.08); Y10S 977/735 (2016.08); H05K 9/009 (2016.08); H01B 1/04 (2016.08); C08K 3/013 (2018.01); C08K 3/00 (2016.08)	
Título	COMPOSICION PARA LA MEJORA DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO UTILIZANDO NANO PARTICULAS GRAFITICAS Y SU PROCESO DE MANUFACTURA.	
Resumen	Un procedimiento y una composición para la manufactura de un compuesto reforzado con nano partículas gráficas de alta conductividad que pueden ser utilizados como intensificadores químicos aplicables en el sistema de puesta a tierra de líneas de transmisión, distribución y subestaciones de energía eléctrica, así como en instalaciones de telecomunicaciones y centros de cómputo.	
Fecha de Puesta en Circulación	2019-01-18	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=8160914	

Cuadro 4.5

Gaceta: Patentes, Registros de Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Diciembre de 2018	Sección: Patentes
Oficina, No de Patente y Tipo de documento	MX 361426 B	
Tipo de documento	Patente de Invención	
Fecha de concesión	31/10/2018	
Número de solicitud	MX/a/2011/004027	
Fecha de presentación	31/03/2011	
Inventor(es)	ISAIAS RAMIREZ VAZQUEZ [MX]	
Titular	INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍAS LIMPIAS [MX] ; Reforma No. 113, Col. Palmira, Cuernavaca, Morelos, Mor.	
Agente	NORBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ [MX]; Morelos, 62490, [MX]	
Clasificación CIP	H01B 1/04 (2006.01), C08L 83/04 (2006.01), H01B 3/28 (2006.01), H01B 3/46 (2006.01)	
Clasificación CPC	H01B 1/04 (2013.01); C08L 83/04 (2013.01); H01B 3/46 (2013.01); H01B 3/28 (2017.08)	
Título	PROCESO DE MANUFACTURA DE COMPUESTOS AISLANTES REFORZADOS CON NANO PARTICULAS CON MAYOR RESISTENCIA A LA EROSION Y CARBONIZACION APLICABLES EN AMBIENTES DE ALTA CONTAMINACION Y EL COMPUESTO RESULTANTE.	
Resumen	<p>Un procedimiento y una composición para la manufactura de un compuesto dieléctrico aislante reforzado con nano partículas, útil en aislamiento exterior, interior y piezas o partes aislantes de equipos sometidos a condiciones ambientales de contaminación. La matriz es de silicón base vulcanizable a alta temperatura (HTV), e incluye como materiales de refuerzo, la combinación de micro partículas, nano partículas, un dispersante o surfactante comercial para incrementar la tensión superficial y mejorar la dispersión de las nano partículas. El incremento en la tensión superficial de las nano partículas, reduce aglomeración y por tanto es más fácil separar las nano partículas durante el mezclado permitiendo una mejor dispersión. Incluye también un agente acoplante del tipo de organosilano y un iniciador de entrelazamiento reticulado. Esta combinación de partículas proporciona una mayor resistencia a la carbonización y a la erosión en los materiales aislantes, debido a la gran cantidad de interacciones entre la mayor área superficial y grupos silanos de las nano partículas, comparado con las formulaciones tradicionales con solamente micro partículas. El material nano-micro compuesto aislante, se evalúa en el plano inclinado de acuerdo a la norma ASTM D2303 y se tiene aguante en el voltaje de prueba 7 kV y hasta de 8 kV a 12 ml/min de líquido contaminante. El nano compuesto aislante presenta mejores propiedades de resistencia al tracking y erosión, por lo que estos compuestos aislantes se pueden utilizar como aislantes eléctricos externos o aún internos, ya sea en líneas de energía eléctrica y subestaciones en donde se requiera eliminar el mantenimiento preventivo causado por la contaminación.</p>	
Fecha de Puesta en Circulación	2019-01-18	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=8160875	

Cuadro 4.6

Gaceta: Patentes, Registros de Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Noviembre de 2018	Sección: Patentes
Oficina, No de Patente y Tipo de documento	MX 361132 B	
Tipo de documento	Patente de Invención	
Fecha de concesión	28/11/2018	
Número de solicitud	MX/a/2015/008357	
Fecha de presentación	25/06/2015	
Número de solicitud internacional	PCT/US2013/028545	
Fecha de presentación internacional	01/03/2013	
Número de publicación internacional	WO 2014/133537	
Fecha de publicación internacional	04/09/2014	
Inventor(es)	Magdalena SANDOR [US]; Ronald E. CHERRY [US]; Songhua CHEN [US]	
Titular	HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC. [US]; 10200 Bellaire Boulevard, Houston, Texas, TX	
Agente	EUGENIO PÉREZ PÉREZ [MX]; Distrito Federal, 06600, [MX]	
Clasificación CIP	G01V 3/32 (2006.01), G01N 24/00 (2006.01), G01N 24/08 (2006.01), G01V 3/34 (2006.01), G01V 3/38 (2006.01)	
Clasificación CPC	G01V 3/32 (2013.01); G01V 3/34 (2013.01); G01N 24/081 (2013.01); G01V 3/38 (2013.01)	
Título	DIFERENCIACION EN EL FONDO DEL POZO DE FILTRADOS A BASE DE ACEITE Y PETROLEO LIGERO MEDIANTE RMN CON NANOPARTICULAS OLEOFILICAS.	
Resumen	Los métodos de resonancia magnética nuclear (RMN) de fondo de pozo que utilizan nanopartículas oleofílicas pueden permitir la diferenciación de petróleo ligero y filtrados a base de aceite. Por ejemplo, un método puede implicar la perforación de un pozo que penetra una formación subterránea con el uso de un fluido de perforación a base de aceite que comprende un fluido a base de aceite y múltiples nanopartículas oleofílicas; la modalidad de múltiples mediciones de RMN en múltiples profundidades de investigación (DOI) de una parte cercana al pozo de la formación subterránea; y la producción de un perfil de invasión de un filtrado de fluido de perforación a base de aceite en la parte cercana al pozo de la formación subterránea en función de las múltiples mediciones de RMN.	
Fecha de Puesta en Circulación	2018-12-17	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=8131109	

Cuadro 4.7

Gaceta: Patentes, Registros de Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Octubre de 2018	Sección: Patentes
Oficina, No de Patente y Tipo de documento	MX 359737 B	
Tipo de documento	Patente de Invención	
Fecha de concesión	09/10/2018	
Número de solicitud	MX/a/2016/005746	
Fecha de presentación	03/05/2016	
Número de solicitud internacional	PCT/US2013/078456	
Fecha de presentación internacional	31/12/2013	
Número de publicación internacional	WO 2015/102607	
Fecha de publicación internacional	09/07/2015	
Inventor(es)	Juan NAVARRO-SORROCHE [ES]; Weijun GUO [CN]	
Titular	HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC. [US] ; 10200 Bellaire Blvd., Houston, Texas, TX	
Agente	FRANCISCO JAVIER UHTHOFF ORIVE [MX]; Ciudad de México, 06600, [MX]	
Clasificación CIP	G21G 4/02 (2006.01), G01V 5/10 (2006.01), H05H 3/06 (2006.01)	
Clasificación CPC	G21G 4/02 (2016.08); G01V 5/10 (2016.08); H05H 3/06 (2016.08)	
Título	GENERADOR DE NEUTRONES DE FUENTE DE IONES DE NANO EMISORES.	
Resumen	Una herramienta de registro de pozos incluye un generador de neutrones con una fuente de iones para la producción de iones por ionización de impacto de electrones, donde la trayectoria de corriente de ionización se determina por un campo eléctrico y un campo magnético al menos parcialmente desalineado. El campo eléctrico se puede proporcionar por una disposición de electrodos con un cátodo asociado con la matriz emisora de campo que incluye una multitud de nano emisores. El campo magnético se puede proporcionar por un imán permanente incorporado en el generador de neutrones para actuar de forma transversal al campo eléctrico en al menos parte de una cámara de fuente de iones donde una corriente de ionización emitida por la matriz emisora de campo se desplaza a través de un gas ionizable. Las partículas cargadas que se desplazan a través del gas ionizable entonces siguen trayectorias correspondientes que son mayores que lo que serían en ausencia del campo magnético, aumentando así la probabilidad de ionización.	
Fecha de Puesta en Circulación	2018-11-14	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=8068965	

Cuadro 4.8

Gaceta: Solicitudes de Patente, de Registros de Modelo de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Septiembre de 2018	Sección: Solicitudes de Patente
Número de solicitud	MX/a/2017/003330	
Fecha de presentación	14/03/2017	
Solicitante(s)	CENTRO DE INVESTIGACION EN QUIMICA APLICADA [MX]	
Inventor(es)	Ana Lilia IZÁBAL CARVAJAL [MX]; CARLOS ALBERTO ÁVILA ORTA [MX]; CENTRO DE INVESTIGACION EN QUIMICA APLICADA [MX]; Ernesto HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ [MX]; FLORENTINO SORIANO CORRAL [MX]; JANETT ANAID VALDEZ GARZA [MX]; JUAN GUILLERMO MARTÍNEZ COLUNGA [MX]; José Manuel MATA PADILLA [MX]; Octavio GARCÍA VALLADARES [MX]; PABLO GONZÁLEZ MORONES [MX]; Victor Javier CRUZ DELGADO [MX]	
Agente	OLIVERIO SANTIAGO RODRIGUEZ FERNANDEZ [MX]; Coahuila, 25253, MX	
Clasificación CIP	B82B 3/00 (2006.01); B82Y 30/00 (2011.01); C08L 23/00 (2006.01)	
Clasificación CPC	B82Y 30/00 (2016.08); C08J 5/005 (2016.08)	
Título	PROCESO PARA OBTENER NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS CON CONDUCTIVIDAD TÉRMICA MEJORADA.	
Resumen	<p>La presente invención consiste en un proceso novedoso para la producción de nanocompuestos poliméricos con conductividad térmica mejorada, cuya novedad inventiva consiste en el diseño de un proceso de extrusión adecuada para incrementar la producción de los nanocompuestos poliméricos (NCPs) a una velocidad de producción de 0.1 a 10 kg/h. Este proceso se logra en dos etapas: a) Concentrado y b) Dilución; en cada etapa se utiliza un extrusor doble husillo el cual presenta una configuración adecuada para alcanzar el nivel de producción de 0.1 a 10 kg/h. En la etapa de concentrado se produce un NCP de polietileno de alta densidad con una concentración del 20% de nanopartículas (NPs) como nanotubos de carbono de pared múltiple puros (MWCNTs) y nanotubos de carbono de pared múltiple modificados con el grupo funcional hidroxilo (-OH) (MWCNT-m), grafeno, negro de humo (CB) y NPs de cobre (NP-Cu) . La aplicación de este nuevo proceso permite incrementar la producción de los NCPs con conductividad térmica mejorada a niveles de producción como planta piloto o industrial. La presente invención está dirigida al sector industrial de la transformación de los plásticos o polímeros, industria automotriz, electrónica, petroquímica, construcción, y el sector energético, entre otros.</p>	
Fecha de Puesta en Circulación	2018-10-19	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=8034975	

Cuadro 4.9

Gaceta: Solicitudes de Patente de Uso Libre e Invenciones del Dominio Público	Ejemplar de: Septiembre de 2018	Sección: Solicitudes de patente, abandonadas, desistidas por parte de su titular, desechadas o negada su concesión
Número de solicitud	MX/a/2013/006868	
Solicitante(s)	UNIVERSITY OF FLORIDA RESEARCH FOUNDATION, INC.	
Número de solicitud internacional	PCT/US2011/065569	
Número de publicación internacional	WO 2012/083209	
Clasificación CIP	<p>H01M 4/1393 (2018.01)</p>	
Título	OXIDACION DE HIDROGENO Y GENERACION SOBRE PELICULA DE CARBONO.	
Resumen	<p>Un electrodo que comprende una película o cuerpo que comprende carbono con ciclo catódico, tratado con ácido; El carbono consiste en nanotubos de pared única (SWNTs), grafito pirolítico, grafito microcristalino, cualquier carbono que consista en más de 99% de carbonos hibridados sp² o cualquier combinación de estos; el electrodo se puede usar en un dispositivo electroquímico que funciona como un electrolizador para evolución de hidrógeno o como una celda de combustible para oxidación de hidrógeno; el dispositivo electroquímico se puede acoplar como un generador de energía secundaria en un sistema con un generador de energía primaria que naturalmente se somete a fluctuaciones de generación; durante los períodos de salida de energía alga, la fuente primaria puede activar el dispositivo electroquímico para almacenar energía como hidrógeno, el cual se puede consumir para generar electricidad como la energía secundaria durante salida de energía baja por la fuente primaria; celdas solares, turbina eólicas y turbinas hidráulicas pueden actuar como la fuente de energía primaria.</p>	
Fecha de Puesta en Circulación	2018-09-28	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=7997405	

Cuadro 4.10

Gaceta: Solicitudes de Patente de Uso Libre e Inventiones del Dominio Público	Ejemplar de: Agosto de 2018	Sección: Solicitudes de patente, abandonadas, desistidas por parte de su titular, desechadas o negada su concesión
Número de solicitud	MX/a/2013/011221	
Solicitante(s)	BAYER INTELLECTUAL PROPERTY GMBH	
Número de solicitud internacional	PCT/EP2012/055327	
Número de publicación internacional	WO 2012/130801	
Clasificación CIP	<p>H01G 9/20 (2018.01)</p>	
Título	CELULA SOLAR SENSIBILIZADA POR COLORANTE CON NANOTUBOS DE CARBONO DOPADO CON NITROGENO.	
Resumen	Una célula solar sensibilizada por colorante que comprende un electrodo de óxido metálico, un contraelectrodo que se encara al electrodo de óxido metálico y un electrólito dispuesto entre el electrodo de óxido metálico y el contraelectrodo, en el que el electrodo de óxido metálico comprende un colorante situado sobre él y el electrólito comprende un par redox electroquímico. Adicionalmente, entre el electrodo de óxido metálico y el contraelectrodo, se disponen nanotubos de carbono dopado con nitrógeno (N-CNT), que están en contacto eléctrico con el contraelectrodo. La invención se refiere adicionalmente a un procedimiento de obtención de energía eléctrica por medio de las células solares sensibilizadas por colorante de acuerdo con la invención y al uso de nanotubos de carbono dopado con nitrógeno como catalizador en la reacción de un par redox electroquímico, en particular del par redox I-/I3-.	
Fecha de Puesta en Circulación	2018-08-31	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=7956532	

Cuadro 4.11

Gaceta: Solicitudes de Patente, de Registros de Modelo de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Julio de 2018	Sección: Solicitudes de Patente conforme al Tratado de Cooperación en Materia de Patentes
Número de solicitud	MX/a/2017/013648	
Fecha de presentación	23/10/2017	
Número de solicitud internacional	PCT/US2016/029184	
Fecha de presentación internacional	25/04/2016	
Número de publicación internacional	WO 2017/011052	
Fecha de publicación internacional	19/01/2017	
Solicitante(s)	WILLIAM MARSH RICE UNIVERSITY [US]	
Inventor(es)	Abdul- Rahman O. RAJI [NG]; Rodrigo V. SALVATIERRA [BR]; TOUR, James M. [US]	
Agente	ROSA ELENA NURIA BECERRIL CORTÉS [MX]; Ciudad de México, 11590, MX	
Prioridad (es)	US 62/151,941 23/04/2015;	
Clasificación CIP	H01J 1/63 (2006.01); H01J 17/49 (2012.01); H01J 63/04 (2006.01)	
Clasificación CPC	H01G 11/28 (2016.08); H01G 11/36 (2016.08); Y02E 60/13 (2016.08); H01G 11/06 (2016.08); H01M 10/0525 (2016.08); H01M 4/663 (2016.08); H01M 4/661 (2016.08); H01M 4/625 (2016.08); H01M 4/587 (2016.08); H01M 4/66 (2016.08); H01M 4/045 (2016.08); H01G 11/86 (2016.08); H01G 11/68 (2016.08)	
Título	MATRICES DE NANOTUBOS DE CARBONO ALINEADOS VERTICALMENTE COMO ELECTRODOS.	
Resumen	<p>Modalidades de la presente invención se refieren a electrodos que incluyen una pluralidad de nanotubos de carbono alineados en vertical y un metal asociado con los nanotubos de carbono alineados en vertical; los nanotubos de carbono alineados en vertical pueden estar en forma de un material híbrido de nanotubo de grafeno-carbono que incluye una película de grafeno covalentemente enlazada a los nanotubos de carbono alineados en vertical; el metal se puede asociar de manera reversible con los nanotubos de carbono in situ durante la operación de electrodos y carecer de cualquier dendrita o agregados musgosos; el metal puede estar en forma de un recubrimiento no dendrítico o no musgoso sobre superficies de los nanotubos de carbono alineados en vertical; el metal también se puede infiltrar dentro de haces de los nanotubos de carbono alineados en vertical; modalidades adicionales se refieren a dispositivos para almacenamiento de energía que contienen los electrodos de la presente descripción; otras modalidades se refieren a métodos para formar dichos electrodos al aplicar un metal a una pluralidad de nanotubos de carbono alineados en vertical.</p>	
Fecha de Puesta en Circulación	2018-08-17	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=7903136	

Cuadro 4.12

Gaceta: Patentes, Registros de Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Junio de 2018	Sección: Patentes
Oficina, No de Patente y Tipo de documento	MX 356916 B	
Tipo de documento	Patente	
Fecha de concesión	19/06/2018	
Número de solicitud	MX/a/2015/016823	
Fecha de presentación	07/12/2015	
Número de solicitud internacional	PCT/IB2014/062029	
Fecha de presentación internacional	06/06/2014	
Número de publicación internacional	WO 2014/199277	
Fecha de publicación internacional	18/12/2014	
Inventor(es)	Mark M. MLEZIVA [US]; Neil T. SCHOLL [US]; Peter S. LORTSCHER [US]; Ryan J. MCENEANY [US]; Vasily A. TOPOLKARAEV [RU]	
Titular	KIMBERLY-CLARK WORLDWIDE, INC. [US] ; 2300 Winchester Road, Neenah, Wisconsin, WI	
Agente	JOSE PABLO PÉREZ ZEA [MX]; Ciudad de México, 11560, [MX]	
Prioridad (es)	US61/833,996 12/06/2013; US61/907,548 22/11/2013	
Clasificación CIP	C08J 9/00 (2006.01), C08J 3/20 (2006.01), C08K 7/00 (2006.01), C08L 23/00 (2006.01), C08L 67/00 (2006.01)	
Clasificación CPC	C08J 5/18 (2016.08); A41D 31/0044 (2016.08); D10B 2507/00 (2016.08); D10B 2501/04 (2016.08); D10B 2401/10 (2016.08); D10B 2331/041 (2016.08); C08J 2423/16 (2016.08); C08J 2423/08 (2016.08); C08J 2367/04 (2016.08); F41H 1/02 (2016.08); D03D 15/0083 (2016.08); D03D 1/0052 (2016.08); C08L 67/04 (2016.08); C08L 67/00 (2016.08); C08J 5/04 (2016.08); A42B 3/06 (2016.08)	
Título	MIEMBRO ABSORBENTE DE ENERGIA.	
Resumen	Se proporciona un miembro absorbente de energía que contiene un material polimérico poroso. El material polimérico se forma a partir de una composición termoplástica que contiene una fase continua que incluye un polímero de matriz y dentro del cual se dispersan un aditivo de microinclusión y un aditivo de nanoinclusión en forma de dominios discretos. En el material se define una red porosa que incluye una pluralidad de nanoporos que tienen una dimensión de la sección transversal promedio de aproximadamente 800 nanómetros o menos.	
Fecha de Puesta en Circulación	2018-07-31	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=7872710	

Cuadro 4.13

Gaceta: Solicitudes de Patente, de Registros de Modelo de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Mayo de 2018	Sección: Solicitudes de Patente
Número de solicitud	MX/a/2016/015395	
Fecha de presentación	24/11/2016	
Solicitante(s)	OPTICAL SAVER TECHNOLOGIES, S.A.P.I. DE C.V. [MX]	
Inventor(es)	Enrique CAPILLA BERMÚDEZ [MX]	
Agente	ANTHUA RAMÍREZ VARGAS [MX]; Ciudad de México, 03020, MX	
Clasificación CIP	G02B 5/28 (2006.01)	
Clasificación CPC	G02B 5/285 (2016.08)	
Título	DISPOSITIVO OPTICO PARA INCREMENTAR LA EMISION DE LUZ UTIL EN FUENTES ELECTRO-LUMINISCENTES, MEDIANTE LA RETROREFLEXION SELECTIVA DE LAS LONGITUDES DE ONDA DE ALTA ENERGIA DE DICHA LUZ EMITIDA.	
Resumen	Este Dispositivo Óptico está formado por un reflector y un filtro ópticos, el reflector es una superficie metálica difusa o especular con una reflectancia no menor al 98%, de forma y dimensiones acordes a la lámpara a afectar. El filtro óptico es una estructura rígida y transparente a la luz visible, con forma geométrica y dimensiones también acordes a la lámpara a afectar, está fabricado de material orgánico o inorgánico, y sirve como sustrato sobre el cual se aplica una capa de óxido de zinc, específicamente una nano estructura de hilos óxido de zinc, para formar una capa parcialmente reflectiva y anti reflectiva simultáneamente en función de la longitud de onda de la luz que la atraviesa. Adecuadamente colocado sobre la capa luminiscente de una lámpara fluorescente o LED de Luz Blanca, este Dispositivo Óptico es capaz de retro reflejar a dicha capa luminiscente, la mayor parte de la luz de corta longitud de onda y alta energía para ser convertida en luz de onda más larga y menor energía por la propia capa luminiscente de la fuente, lo que resulta en un incremento de la emisión total de luz de al menos el 20%, sin modificar el Índice de Reproducción Cromática (IRC) de la fuente.	
Fecha de Puesta en Circulación	2018-06-29	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=7810578	

Cuadro 4.14

Gaceta: Solicitudes de Patente, de Registros de Modelo de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Mayo de 2018	Sección: Solicitudes de Patente conforme al Tratado de Cooperación en Materia de Patentes
Número de solicitud	MX/a/2018/004276	
Fecha de presentación	06/04/2018	
Número de solicitud internacional	PCT/US2015/060525	
Fecha de presentación internacional	13/11/2015	
Número de publicación internacional	WO 2017/082919	
Fecha de publicación internacional	18/05/2017	
Solicitante(s)	HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC. [US]	
Inventor(es)	Aditya B. NAYAK [IN]; David L. PERKINS [US]; James M. PRICE [US]; Michael T. PELLETIER [US]	
Agente	CYNTHIA MADRIGAL DOMINGUEZ [MX]; Ciudad de México, 03900, MX	
Clasificación CIP	G01N 21/31 (2006.01)	
Clasificación CPC	G01N 21/251 (2016.08); B82Y 15/00 (2016.08); G01J 1/46 (2016.08); G01J 3/00 (2016.08); G01N 21/31 (2016.08); G06N 99/002 (2016.08)	
Título	DISPOSITIVOS OPTICOANALITICOS CON DETECTORES DE NANOMATERIAL BASADOS EN CAPACITANCIA.	
Resumen	Los dispositivos informáticos ópticos pueden incluir detectores de nanomaterial basados en capacitancia. Por ejemplo, un dispositivo informático óptico puede incluir una fuente de luz que emite radiación electromagnética en un ensamblaje óptico que se extiende desde la fuente de luz a un detector de nanomaterial basado en capacitancia; un material ubicado en el ensamblaje óptico para interactuar de forma óptica con la radiación electromagnética y producir luz con interacción óptica; y el detector de nanomaterial basado en capacitancia que comprende uno o más materiales de tamaño nano, configurados para tener un espectro de absorción ajustado de forma resonante, y configurado para recibir la luz con interacción óptica, aplicar un vector relacionado con la característica de interés a la luz con interacción óptica, utilizando el espectro de absorción ajustado de forma resonante, y generar una señal de emisión indicativa de la característica de interés.	
Fecha de Puesta en Circulación	2018-06-29	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=7809799	

Cuadro 4.15

Gaceta: Patentes, Registros de Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Mayo de 2018	Sección: Patentes
Tipo de documento	Patente	
Oficina, No de Patente y Tipo de documento	MX 356158 B	
Fecha de concesión	17/04/2018	
Número de solicitud	MX/a/2012/012725	
Fecha de presentación	31/10/2012	
Inventor(es)	BEATRIZ LILIANA ESPAÑA SANCHEZ [MX]; CARLOS ALBERTO AVILA ORTA [MX]; ENRIQUE JAVIER JIMENEZ REGALADO [MX]; JOSE ALBERTO RODRIGUEZ GONZALEZ [MX]; PABLO GONZALEZ MORONES [MX]; RAQUEL LEDEZMA RODRIGUEZ [MX]; RONALD FRANCIS ZIOLO [US]; SILVIA GUADALUPE SOLIS ROSALES [MX]	
Titular	CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUIMICA APLICADA Blvd. Enrique Reyna Herмосillo #140, Predio El Charquillo, Saltillo, Coahuila, Coah.	
Agente	OLIVERIO SANTIAGO RODRIGUEZ FERNANDEZ [MX]; Coahuila, 25294, MX	
Clasificación CIP	B82B 3/00 (2006.01)	
Título	PROCESO PARA LA SÍNTESIS DE NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS CON GRAFENO A PARTIR DE ÓXIDO DE GRAFITO MEDIANTE POLIMERIZACIÓN POR MICROONDAS.	
Clasificación CPC	C08J 5/005 (2016.08); C01B 31/0415 (2016.08); C01B 31/0469 (2016.08); C08J 5/24 (2016.08)	
Resumen	<p>La presente invención es un proceso de síntesis de nanocompuestos poliméricos híbridos con grafeno a partir de óxido de grafito y los monómeros necesarios mediante polimerización asistida por microondas para la obtención de grafeno reducido disperso en una matriz polimérica sin la necesidad de mezclado. La energía de microondas produce la reducción del óxido de grafito y su exfoliación en láminas de grafeno reducido seguida de la polimerización de los monómeros, esto permite la hibridación de las láminas de grafeno reducido con cadenas de polímero nacientes, generando la dispersión de las láminas en la matriz polimérica. El resultado es un nanocompuestos híbrido de Nylon 6-Grafeno y un nanohíbrido de Grafeno-Nylon 6, ambos con propiedades mejoradas para aplicaciones en el campo de la medicina, electrónica, energía, entre otros.</p>	
Fecha de Puesta en Circulación	2018-06-29	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=7807653	

Cuadro 4.16

Gaceta: Patentes, Registros de Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Abril de 2018	Sección: Patentes
Tipo de documento	Patente	
Oficina, No de Patente y Tipo de documento	MX 355755 B	
Fecha de concesión	27/04/2018	
Número de solicitud	MX/a/2014/012972	
Fecha de presentación	24/10/2014	
Número de solicitud internacional	PCT/US2013/038343	
Fecha de presentación internacional	26/04/2013	
Número de publicación internacional	WO 2013/163504	
Fecha de publicación internacional	31/10/2013	
Inventor(es)	D. CHAD BRENNEIS [US]; CRAIG W. RODDY [US]; JITEN CHATTERJI [US]; CARL J. THAEMLITZ [US]; RICKY L. COVINGTON [US]; Marlow, Oklahoma, 73055, US	
Titular	HALLIBURTON ENERGY SERVICES INC. [US]; Houston, Texas, 77072, US	
Agente	MARIA ANGELICA PARDAVELL JUAREZ; Av. Insurgentes Sur No. 1647, Piso 15, Of. 1502, Col. Col. San José Insurgentes, 03900, BENITO JUAREZ, Ciudad de México, México	
Prioridad (es)	US13/458,112 27/04/2012	
Clasificación CIP	C04B 20/00 (2006.01); C04B 28/00 (2006.01); C09K 8/03 (2006.01); C09K 8/46 (2006.01); C09K 8/48 (2006.01); C09K 8/487 (2006.01); C09K 8/502 (2006.01); C09K 8/504 (2006.01); C09K 8/516 (2006.01)	
Título	COMPOSICIONES Y METODOS DE TRATAMIENTO DE POZOS UTILIZANDO NANOPARTICULAS.	
Clasificación CPC	B82Y 30/00 (2016.08); C04B 28/02 (2016.08); C09K 8/032 (2016.08); C09K 8/46 (2016.08); C09K 8/502 (2016.08); C09K 8/516 (2016.08); C09K 8/5045 (2016.08); C04B 2111/00008 (2016.08); C09K 2208/10 (2016.08)	
Resumen	La presente invención se refiere a composiciones y métodos de tratamiento de pozos utilizando nanopartículas, más en particular, en una o más formas de realización, a composiciones de cemento para pozos y/o fluidos de terminación de pozos que comprenden nanopartículas. En una forma de realización preferida, la presente invención provee un método de terminación de un pozo que comprende la inclusión de nanopartículas que tienen un tamaño de alrededor de 1 nanómetro a alrededor de 100 nanómetros en fluidos de terminación, donde las nanopartículas comprenden por lo menos una nanopartícula seleccionada del grupo que consiste en nanoalúmina, nanoóxido de zinc, nanoboro, nanoóxido de hierro, nanosilice, y cualquiera de sus combinaciones; y el uso del fluido de terminación en la terminación del pozo.	
Set	C-Set 1.- C04B 28/02; C04B 14/06; C04B 20/008	
Fecha de Puesta en Circulación	2018-05-11	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=7730542	

Cuadro 4.17

Gaceta: Solicitudes de Patente de Uso Libre e Inventiones del Dominio Público	Ejemplar de: Abril de 2018	Sección: Patentes caducas por falta de pago
Oficina, No de Patente y Tipo de documento	MX 208140 B	
Tipo de documento	Patente	
Titular	GENERAL ELECTRIC COMPANY	
Clasificación CIP	C23C 16/00 (2006.01)	
Título	PROCESADOR TERMICO PARA PLAQUITAS SEMICONDUCTORAS	
Resumen	<p>La presente invención se refiere a un procesador térmico para por lo menos una plaquita semiconductor que incluye una cámara de reactor que tiene un material substancialmente transparente a la luz que incluye una longitud de onda dentro de la escala de aproximadamente 200 nanómetros hasta aproximadamente 800 nanómetros para sostener por lo menos una plaquita semiconductor. Un recubrimiento que incluye un material substancialmente reflejante de radiación infrarroja puede estar presente sobre por lo menos una porción de la cámara de reactor. Una fuente de luz proporciona energía radiante hacia por lo menos una plaquita semiconductor a través del recubrimiento y la cámara de reactor. La fuente de luz puede incluir una lámpara de descarga ultravioleta, una lámpara incandescente infrarroja de halógeno o, una lámpara de descarga visible de haluro metálico. El recubrimiento puede estar situado sobre una superficie interna o externa de la cámara de reactor. Si la cámara de reactor tiene paredes internas y externas, el recubrimiento puede estar colocada sobre la pared interna o la pared externa.</p>	
Fecha de Puesta en Circulación	2018-05-02	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=7707077	

Cuadro 4.18

Gaceta: Patentes, Registros de Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Marzo de 2018	Sección: Patentes
Tipo de documento	Patente	
Oficina, No de Patente y Tipo de documento	MX 354407 B	
Fecha de concesión	28/02/2018	
Número de solicitud	MX/a/2011/010021	
Fecha de presentación	23/09/2011	
Inventor(es)	ROSA DEL CARMEN MIRANDA GUARDIOLA [MX]; CESAR ALBERTO SOSA BLANCO [MX]; EILEEN SUSANA CARRILLO PEDRAZA [MX]; DIANA BUSTOS MARTINEZ [MX]; MARIA ELENA RODRIGUEZ CANTU [MX]; SAN NICOLAS DE LOS GARZA, Nuevo León, 66450, MX	
Titular	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON [MX]; SAN NICOLAS DE LOS GARZA, Nuevo León, 66451, MX	
Agente	LORENA NOHEMÍ GONZÁLEZ PACHECO; Av. Pedro de Alba S/N, Torre de Rectoría, Piso 4, Col. Ciudad Universitaria, 66455, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México	
Clasificación CIP	C10L 5/44 (2006.01); B09B 3/00 (2006.01); B82Y 30/00 (2011.01); C02F 11/00 (2006.01)	
Título	PROCESO DE OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE CARBONO POR MEDIO DE PIRÓLISIS DE BIOMASA CON DEPOSICIÓN QUÍMICA DE VAPOR.	
Clasificación CPC	C10L 5/447 (2016.08); C10L 5/44 (2016.08); C10L 5/442 (2016.08)	
Resumen	La presente invención se refiere a un proceso para la conversión de biomasa en nanoparticulas de carbono y material grafitizable o grafitable. Se establece un proceso para la obtención de nanoparticulas de carbono, como nanocebollas y nanocristales. Se busca aportar soluciones en el problema de la acumulación de desechos utilizando estos mismos para generar otros productos. Se utiliza un recurso renovable para la generación de materiales nanoestructurados. Los productos obtenidos mediante este proceso tienen potencial de aplicación energética como capacitares, almacenadores de energía y celdas de combustible. Además se busca dar utilidad a la biomasa que se genera como residuo de otros procesos, favoreciendo a la sustentabilidad del medio ambiente.	
Fecha de Puesta en Circulación	2018-04-12	
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=7654508	

Cuadro 4.19

Gaceta: Patentes, Registros de Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales	Ejemplar de: Febrero de 2018	Sección: Patentes
Tipo de documento	Patente	
Oficina, No de Patente y Tipo de documento	MX 354160 B	
Fecha de concesión	14/02/2018	
Número de solicitud	MX/a/2014/009542	
Fecha de presentación	07/08/2014	
Número de solicitud internacional	PCT/IB2013/050729	
Fecha de presentación internacional	28/01/2013	
Número de publicación internacional	WO 2013/118019	
Fecha de publicación internacional	15/08/2013	
Inventor(es)	RYAN J. MCENEANY [US]; NEIL T. SCHOLL [US]; VASILY A. TOPOLKARAEV [US]; TOM EBY [US]; Appleton, Wisconsin, 54915, US	
Titular	KIMBERLY-CLARK WORLDWIDE, INC. [US]; Neenah, Wisconsin, 54956, US	
Agente	JOSÉ PABLO PÉREZ ZEA; Campos Elíseos 345, Piso 3, Col. Chapultepec Polanco, 11560, MIGUEL HIDALGO, Distrito Federal, México	
Prioridad (es)	US13/370,952 10/02/2012	
Clasificación CIP	D01F 6/62 (2006.01); D01D 5/08 (2006.01); D01F 1/10 (2006.01); D01F 6/92 (2006.01); D04H 1/435 (2012.01); D04H 1/724 (2012.01)	
Título	FIBRAS DE POLIESTER RENOVABLES QUE TIENEN UNA BAJA DENSIDAD	
Clasificación CPC	B29C 47/0011 (2016.08); B29C 47/0014 (2016.08); B29C 47/30 (2016.08); B29C 47/0057 (2016.08); B29C 47/8815 (2016.08); D01D 5/12 (2016.08); D01D 5/247 (2016.08); D01F 1/10 (2016.08); D01F 6/92 (2016.08); D04H 3/16 (2016.08); B29C 47/0004 (2016.08); B29C 47/802 (2016.08); B29C 2947/92704 (2016.08); Y10T 428/2913 (2016.08); Y10T 442/608 (2016.08)	

Resumen	<p>Se proporcionan fibras que se forman a partir de una composición termoplástica que contiene un poliéster renovable rígido y tiene una estructura porosa y baja densidad. Para lograr una estructura de este tipo, el poliéster renovable se mezcla con un aditivo endurecedor polimérico en el cual el aditivo endurecedor puede dispersarse como dominios físicos discretos dentro de una matriz continua del poliéster renovable. Las fibras se forman después de eso y después se estiran o se extraen a una temperatura por debajo de la temperatura de transición vítrea del poliéster (es decir "estiramiento en frío") sin pretender estar limitados por la teoría, los presentes inventores creen que la fuerza de deformación y el alargamiento de elongación del proceso de estiramiento provoca que se produzca la pérdida de adherencia en la matriz de poliéster renovable en las zonas localizadas adyacentes a los dominios discretos. Esto crea una red de cavidades (por ejemplo, microcavidades, nanocavidades, o una combinación de las mismas) localizadas adyacentes a los dominios discretos, las cuales, como resultado de su localización cercana, pueden formar un puente entre los límites de las cavidades y actuar como "bisagras" estructurales internas que ayudan a estabilizar la red y aumenta su capacidad para disipar energía.</p>
Fecha de Puesta en Circulación	2018-03-14
URL Ficha	http://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/ficha.jsf?idFicha=7600286

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ATP	Trifosfato de Adenosina
BM	Banco Mundial
BUAP	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CFATA-UNAM	Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM
CFE	Comisión Federal de Electricidad
Cibiogem	Fondo para el Fomento y Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica en Bioseguridad y Biotecnología
CICATA-IPN	Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del IPN
CICY	Centro de Investigación Científica de Yucatán
CIDETEQ	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica
CIITEC-IPN	Centro de Investigación e Innovación Tecnológica del IPN
CIMAV	Centro de Investigación en Materiales Avanzados
Cinvestav	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
CIO	Centro de Investigaciones en Óptica
CIQA	Centro de Investigación en Química Aplicada
CMP+L-IPN	Centro Mexicano para la Producción más Limpia del IPN
CNMN-IPN	Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías del IPN
CNNL	Cluster de Nanotecnología de Nuevo León
CNyN	Centro de Nanociencias y Nanotecnología
Conacyt	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CVU	Currículum Vitae Único
EFIDT	Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología
ESFM-IPN	Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN
ESIME-IPN	Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN
ESIQIE-IPN	Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractiva
FMI	Fondo Monetario Internacional
Fomix	Fondos Mixtos
Foncicyt	Fondo de Cooperación Internacional en Ciencia y Tecnología
Fordecyt	Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación
GATT	General Agreement on Taxes and Trade

GEI	Gases de Efecto Invernadero
I+D	Investigación y Desarrollo
ICF-UNAM	Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM
ICN-UNAM	Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM
IDT	Investigación y Desarrollo Tecnológico
IEA	International Energy Agency
IER-UNAM	Instituto de Energías Renovables de la UNAM
IF-UNAM	Instituto de Física de la UNAM
II-UNAM	Instituto de Ingeniería de la UNAM
IIM-UNAM	Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
IMPI	Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual
INAOE	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
INEEL	Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias
ININ	Instituto de Investigaciones Nucleares
IPICYT	Instituto Potosino de Investigación Científica
IPN	Instituto Politécnico Nacional
IQ-UNAM	Instituto de Química de la UNAM
ISR	Impuesto Sobre la Renta
ITCAN	Instituto Tecnológico de Cancún
ITESCAJ	Instituto Tecnológico Superior de Cajeme
ITESIXTA	Instituto Tecnológico Superior de Ixtapaluca
ITESM	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
ITESO	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente A. C.
ITH	Instituto Tecnológico de Hermosillo
ITO	Instituto Tecnológico de Oaxaca
ITSP	Instituto Tecnológico Superior Progreso
ITTIJ	Instituto Tecnológico de Tijuana
ITTOL	Instituto Tecnológico de Toluca
LCyT	Ley de Ciencia y Tecnología
LGAC	Línea General de Aplicación del Conocimiento
MW	MegaWatt
MWh	MegaWatt-hora
NNI	National Nanotechnology Initiative
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

ODI	Objetivos del Desarrollo internacional
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio
ODS	Objetivos del Desarrollo Sostenible
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
OMPI	Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
ONG	Organismo No Gubernamental
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OPEP	Organización de Países Productores de Petróleo
PCyMT	Programa de Ciencia y Modernización Tecnológica
PECyT	Programa Especial de Ciencia y Tecnología
PEI	Programa de Estímulos a la Innovación
Pemex	Petróleos Mexicanos
PEN	Project on Emerging Nanotechnologies
PND	Plan Nacional de Desarrollo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
Prodep	Programa de Mejoramiento del Profesorado
RENIECYT	Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas
RNyN	Red Nacional de Nanociencias y Nanotecnologías
SE	Secretaría de Economía
Semarnat	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Sener	Secretaría de Energía
SNI	Sistema Nacional de Innovación
TIC's	Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones
UAA	Universidad Autónoma de Aguascalientes
UABJO	Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca
UACOAH	Universidad Autónoma de Coahuila
UAEH	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
UAEM	Universidad Autónoma del Estado de Morelos
UAM	Universidad Autónoma Metropolitana
UANL	Universidad Autónoma de Nuevo León
UAQRO	Universidad Autónoma de Querétaro
UASLP	Universidad Autónoma de San Luis Potosí
UDG	Universidad de Guadalajara
UG	Universidad de Guanajuato

UM	Universidad de Montemorelos A. C.
UNACAR	Universidad Autónoma del Carmen
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNICEF	United Nations International Children Emergency Fund (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia)
UNISON	Universidad de Sonora
UNISTMO	Universidad del Istmo
UPFIM	Universidad Politécnica De Francisco I. Madero
UPGRO	Universidad Politécnica de Guerrero
UPIITA-IPN	Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas del IPN
UPMP	Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla
UPTLAX	Universidad Politécnica de Tlaxcala
UPVT	Universidad Politécnica del Valle de Toluca
UTTT	Universidad Tecnológica De Tula – Tepeji
WIPO	World Intellectual Property Organization
WoS	Web of Science
WWC	Woodrow Wilson Center

REFERENCIAS

- Aboites, J. (s/f). *La “controversia de los Cambridge” y la enseñanza de la economía*. http://publicaciones.anui.es.mx/pdfs/revista/Revista35_S1A3ES.pdf
- Aboites, J., Domínguez, J. M., & Beltrán Oviedo, T. (2004). *La tríada innovadora: Investigación y desarrollo en catálisis : la experiencia del Instituto Mexicano del Petróleo*. Siglo XXI : Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).
- Akubude, V. C., Nwaigwe, K. N., & Dintwa, E. (2019). Production of biodiesel from microalgae via nanocatalyzed transesterification process: A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(2), 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2018.12.006>
- Al-Chalabi, F. J. (1984). *La OPEP y el precio internacional del petróleo: El cambio estructural*. Siglo Veintiuno.
- Alemán-Nava, G. S., Casiano-Flores, V. H., Cárdenas-Chávez, D. L., Díaz-Chavez, R., Scarlat, N., Mahlkecht, J., Dallemant, J.-F., & Parra, R. (2014). Renewable energy research progress in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 140–153. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.004>
- Altvater, E. (s/f). *The social and natural environment of fossil capitalism*.
- Amsden, A. H. (1992). *Asia's Next Giant*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/0195076036.001.0001>
- Anzaldo, M., Chauvet, M., & Maldonado, L. A. (2014). Fondos públicos para la investigación en nanotecnologías en México y el cambio de paradigma de la política de CTI. *Interciencia*, 39(1), 8–15.
- Arrow, K. (1970). Political and economic evaluation of social effects and externalities. En J. Margolis (Ed.), *The Analysis of Public Output* (pp. 1–30). National Bureau of Economic Research.
- Arrow, K. J. (1962). The Economic Implications of Learning by Doing. *The Review of Economic Studies*, 29(3), 155. <https://doi.org/10.2307/2295952>
- Astarita, R. (2013). *Tecnología. Respuesta al profesor Manzanera Salavert*. <https://rolandoastarita.blog/tag/tecnologia/>
- Banco Mundial (BM). (2017). *Datos Banco Mundial. Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total). Renewable energy consumption (% of total final energy consumption)*. <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.FEC.RNEW.ZS?locations=MX&view=chart>
- Banco Mundial (BM). (2019). *Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB) | Data*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?locations=MX-KR>
- Bárcena, A. (2014). La crisis de la deuda latinoamericana: 30 años después. En J. A. Ocampo Gaviria, B. Stallings, I. Bustillo, H. Velloso, & R. Frenkel (Eds.), *La crisis latinoamericana de la deuda desde la perspectiva histórica* (1. ed, pp. 9–18). Naciones Unidas, CEPAL [u.a.].

- Bardi, U. (2019). Peak oil, 20 years later: Failed prediction or useful insight? *Energy Research & Social Science*, 48, 257–261. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.09.022>
- Barro, R., J. (1990). Government spending in a simple model of endogenous growth. *The Journal of Political Economy*, 98(5), 103–125.
- Bergsten, C. F. (1976). Interdependence and the reform of international institutions. *International Organization*, 30(2), 361–372. <https://doi.org/10.1017/S0020818300018324>
- Bielschowsky, R. (2009). Sesenta años de la CEPAL: estructuralismo y neoestructuralismo. *Revista CEPAL*, 97, 173–194.
- Birol, F. (2019). *Renewables 2018. Market analysis and forecast from 2018 to 2023*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/renewables2018/>
- Black, R. (2004). *Targeting development critical perspectives on the millennium development goals*. Routledge.
- Blok, V., & Lemmens, P. (2015). The Emerging Concept of Responsible Innovation. Three Reasons Why It Is Questionable and Calls for a Radical Transformation of the Concept of Innovation. En B.-J. Koops, I. Oosterlaken, H. Romijn, T. Swierstra, & J. van den Hoven (Eds.), *Responsible Innovation 2* (pp. 19–35). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17308-5_2
- Bloomberg. (2016, diciembre 17). Energía solar, la forma más barata de producir electricidad. *El Financiero*.
- Bozorgan, N., & Shafahi, M. (2015). Performance evaluation of nanofluids in solar energy: A review of the recent literature. *Micro and Nano Systems Letters*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40486-015-0014-2>
- British Petroleum (B. P. P. L. C.) (2018). *BP Statistical Review of World Energy* (67a ed.).
- Calva, J. L. (2013, agosto 11). La crisis energética mundial y el futuro de la energía en México. *La Jornada*. <http://ljz.mx/2013/08/11/la-crisis-energetica-mundial-y-el-futuro-de-la-energia-en-mexico/>
- Carbonnier, G., & Grinevald, J. (2011). *Energy and development*. International development policy.
- Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA). (2016). *Empresas que competirán con la Comisión Federal de Electricidad—CCEEA*. [ccea.mx. https://ccea.mx/blog/tecnologia/empresas-que-competiran-con-la-comision-federal-de-electricidad/](https://ccea.mx/blog/tecnologia/empresas-que-competiran-con-la-comision-federal-de-electricidad/)
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP). (2001). *Evolución y Perspectiva del Sector Energético en México 1970-2000*. <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0512001.pdf>
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP). (2008). *Puntos relevantes de la Reforma Energética*. <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/2008/cefp0732008.pdf>
- Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) & Secretaría de Economía (SE). (2008). *Diagnóstico y prospectiva de la nanotecnología en México*.
- Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). (s/f). *Generación de energía limpia en México*. <https://dgo.cimav.edu.mx/reportajes/generacion-de-energia-limpia-en-mexico/>

- Cipolla, C. (1978). *An economic history of world population* (7th ed.). Penguin Books.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2017). *Principales elementos del plan de negocios 2018-2022*.
- Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH). (s/f). *Rondas*. <http://rondasmexico.gob.mx/>
<http://rondasmexico.gob.mx/esp/rondas/ronda-3/cnh-r03-1022018/>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (1976). *Plan Nacional Indicativo de Ciencia y Tecnología*.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (1978). *Programa Nacional de Ciencia y Tecnología*.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (1988). *Programa Nacional de Ciencia y Modernización Tecnológica 1990-1994*.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2002). *DECRETO por el que se aprueba y se expide el programa denominado Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006*. Diario Oficial de la Federación.
<http://www.conacyt.gob.mx/siicyt/index.php/centros-de-investigacion-conacyt/programa-especial-de-ciencia-y-tecnologia/programa-especial-de-ciencia-y-tecnologia-2001-2006>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2019a). *Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología (EFIDT)*.
<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/estimulo-fiscal-a-la-investigacion-y-desarrollo-de-tecnologia-efidt>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2019b). *Fondos mixtos*.
<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/fondos-mixtos>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2019c). *Fondos y Apoyos*.
<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2019d). *Informe de Labores 2008*. <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/transparencia/rendicion-de-cuentas>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2019e). *¿Qué es el Conacyt?*
<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2019). *Programa de Estímulos a la Innovación*. <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/programa-de-estimulos-a-la-innovacion>
- Cypher, J., & Dietz, J. (2009). *The Process of Economic Development* (3a ed.). Routledge.
- Debeir, J.-C., Deléage, J.-P., & Hémerly, D. (1991). *In the Servitude of Power. Energy and Civilization Through the Ages* (1a ed.). Zed Books.
- Derry, T. K., & Williams, T. I. (1998). *Historia de la tecnología*. Siglo Veintiuno.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1960). *Decreto que declara adicionado el párrafo sexto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1970, diciembre 29). *Ley que crea el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*.
http://dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4739376&fecha=29/12/1970&cod_diario=204209
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1975). *Decreto por el que se crea el Instituto de Investigaciones Eléctricas*.

- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1979). *Ley reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en materia nuclear*.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1984). *Decreto por el que se aprueba el Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico 1984-1988*.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1989). *Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994*. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/compila/pnd/PND_1989-1994_31may89.pdf
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1995). *Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000*.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). *Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006*.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). *Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006*.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2007). *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012*.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2013). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2016, junio 24). *DECRETO por el que el Instituto de Investigaciones Eléctricas se convierte en el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias*. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5442434&fecha=24/06/2016
- Dong, H., Gao, Y., Sinko, P., Zaisheng, W., Jianguo, X., & Jia, L. (2016, abril 12). *The nanotechnology race between China and USA*. Materials Today. <https://www.materialstoday.com/nanomaterials/comment/the-nanotechnology-race-between-china-and-usa/>
- Dosi, G., Faillo, M., & Marengo, L. (2008). Organizational Capabilities, Patterns of Knowledge Accumulation and Governance Structures in Business Firms: An Introduction. *Organization Studies*, 29(8–9), 1165–1185. <https://doi.org/10.1177/0170840608094775>
- Dosi, G., & Nelson, R. R. (1994). An introduction to evolutionary theories in economics. *Journal of Evolutionary Economics*, 4(3), 153–172. <https://doi.org/10.1007/BF01236366>
- Dutrénit Bielous, G. (Ed.). (2010). *El sistema nacional de innovación mexicano: Instituciones, políticas, desempeño y desafíos* (1a ed). Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco [u.a.].
- Estañol, A., & Sigler, E. (2019, febrero 1). *Pemex es la petrolera más endeudada del mundo*. Expansión. <https://expansion.mx/empresas/2019/02/01/pemex-es-la-petrolera-mas-endeudada-del-mundo>
- Encourager l'utilisation de la Technologie, l'innovation et la Société de l'information pour la compétitivité (ESTIIC). (2007). *Aplicaciones industriales de la nanotecnología*. Proyecto NANO_SME.
- ETC Group. (2010). *The Big Downturn? Nanogeopolitics* (Núm. 105). ETC Group.
- Etzkowitz, H. (2008). *The triple helix: University-industry-government innovation in action*. Routledge.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: From National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29, 109–123.

- Etzkowitz, H., Webster, A., Gebhardt, C., & Cantisano, B. (2000). The future of the university and the university of the future: Evolution of ivory tower to entrepreneurial paradigm. *Research Policy*, 29, 313–330.
- Fagerberg, J. (2003). *Innovation: A guide to the literature*. Centre for Technology, Innovation and Culture, University of Oslo.
- Fagerberg, J., Srholec, M., & Verspagen, B. (2010). Innovation and Economic Development. En *Handbook of the Economics of Innovation* (Vol. 2, pp. 833–872). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02004-6](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02004-6)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (Ed.). (2018). *Building climate resilience for food security and nutrition*. FAO.
- Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT). (s/f). *Nosotros / Foro Consultivo*. <https://www.foroconsultivo.org.mx/FCCyT/nosotros>
- Fitch, F. R. (2019, enero 29). *Fitch Downgrades PEMEX's IDRs to 'BBB-'; Outlook Negative*. <https://www.fitchratings.com/site/pr/10060982?fbclid=IwAR0rTkUKT5wIHGQKNrm0XxLAgNe9S-3n7MoByD2Zh8pUFo9cLsjkHA4-eJU>
- Foladori, G., Arteaga Figueroa, E., Záyago Lau, E., Villa, L., Appelbaum, R., Robles-Belmont, E., & Parker, R. (2015). Políticas públicas de nanotecnología en México a la luz de criterios de la OCDE. *Anduli Revista Andaluza de Ciencias Sociales*, 14, 195–222. <http://dx.doi.org/10.12795/anduli.2015.i14.11>
- Foladori, G., Invernizzi, N., & Záyago, E. (2012). *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina*. Miguel Ángel Porrúa.
- Foray, D. (2004). *Economics of knowledge*. MIT Press.
- Freeman, C. (1987). *Technology, policy, and economic performance: Lessons from Japan*. Pinter Publishers.
- Freeman, C. (1994). The economics of technical change. *Cambridge Journal of Economics*, 18(5), 463–514.
- Freeman, C., & Pérez, C. (2000). Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour. En I. McLoughlin, D. Preece, & P. Dawson (Eds.), *Technology, organizations, and innovation: Critical perspectives on business and management* (Vol. 2, pp. 871–901). Routledge.
- Gaceta Parlamentaria. (2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024* (Gaceta Parlamentaria Núm. 5266–XVIII). Cámara de Diputados.
- Galindo, L., & Sánchez, L. (2005). El consumo de energía y la economía mexicana: Un análisis empírico con VAR. *Economía Mexicana. Nueva Época*, XIV(2), 271–298.
- Gallego, J. (2003). El cambio tecnológico y la economía neoclásica. *Dyna*, 70(138), 67–78.
- García, K. (2018, abril 23). Energía renovable, más barata que la convencional. *El Economista*, n.a.
- García, K. (2019, mayo 2). *AMLO confirma meta de uso de energías limpias*. El Economista. <https://www.economista.com.mx/empresas/AMLO-confirma-meta-de-uso-de-energias-limpias-20190502-0136.html>
- Gasman, L. (2006). Nanotech and Energy. En *Nanotechnology: Applications and Markets* (p. 210). Artech House, Inc.

- González de la Fe, T. (2009). El modelo de Triple Hélice de relaciones universidad, industria y gobierno: Un análisis crítico. *Arbor*, CLXXXV(738), 739–755. <https://doi.org/10.3989/arbor.2009.738n1049>
- Guajardo S., G. (2006). La tecnología, siglos XVI al XX. *América Latina en la historia económica*, 25, 173–178.
- Harrod, R. F. (1939). An Essay in Dynamic Theory. *The Economic Journal*, 49(193), 14. <https://doi.org/10.2307/2225181>
- Hessen-Nanotech of the Hessian Ministry of Economy, Transport, Urban and regional Development. (2008). *Application of the Nanotechnologies in the Energy Sector*. 9, 88.
- Hodgson, G. (1999). Evolutionary economics: History. En P. O'Hara (Ed.), *Encyclopedia of Political Economy* (1a ed., Vol. 1, pp. 294–298). Routledge.
- Hodgson, G. (2011). Evolutionary and institutional economics as the new mainstream? En J. Aboites & J. M. Corona, *Economía de la innovación y desarrollo* (1a ed., pp. 104–119). Siglo XXI Editores.
- Huber, M. T. (2008). Energizing historical materialism: Fossil fuels, space and the capitalist mode of production. *Geoforum*, 40(1), 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2008.08.004>
- Huber, M. T. (2009). Energizing historical materialism: Fossil fuels, space and the capitalist mode of production. *Geoforum*, 40(1), 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2008.08.004>
- Huynh, W. U. (2002). Hybrid Nanorod-Polymer Solar Cells. *Science*, 295(5564), 2425–2427. <https://doi.org/10.1126/science.1069156>
- International Energy Agency (IEA). (2016). *World Energy Outlook 2016*.
- Instituto Nacional de la Investigación Científica (INIC). (1970). *Política Nacional y Programas en Ciencia y Tecnología*. <http://www.siiicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-peciti/1970-politica-nacional-y-programas-en-ciencia-y-tecnologia/605-politica-nacional-programa-en-cyt-1970-0/file>
- International Energy Agency, I. (2016). *Mexico energy outlook*. OECD/IEA.
- Invernizzi, N., & Foladori, G. (2014). ¿Repitiendo la historia? Nanotecnología y riesgos ocupacionales. En P. Kreimer, H. Vessuri, L. Velho, & A. Arellano, *Perspectivas latinoamericanas en el estudio social de la ciencia, la tecnología y la sociedad* (1a ed., pp. 405–420). Siglo XXI Editores.
- Jia, L. (2005). Global Governmental Investment in Nanotechnologies. *Current Nanoscience*, 1(3), 263–266. <https://doi.org/10.2174/157341305774642957>
- Johnson, H. (1978). *Tecnología e interdependencia económica*. Mundo Moderno.
- Katz, C. (1996). *La concepción marxista del cambio tecnológico*.
- Keefer, T. (2010). *Combustibles fósiles, capitalismo y lucha de clases*.
- Kim, L. (2000). The dynamics of technological learning in industrialisation. *UNU/INTECH discussion papers*, 9–33.
- Kothari, U., & Minogue, M. (Eds.). (2002). *Development theory and practice: Critical perspectives*. Palgrave.

- Kreimer, P. (2002). ¿De qué objeto hablamos? Crítica a los conceptos de Triple Hélice y Nueva Producción de Conocimientos. *Redes*, 9(18), 225–232.
- Lall, S. (1992). Technological capabilities and industrialization. *World Development*, 20(2), 165–186.
- Lara, F. (1998). Actores y procesos en la innovación tecnológica. En F. Lara, *Tecnoogía: Conceptos, problemas y perspectivas* (1a ed., pp. 5–21). Siglo XXI Editores.
- Lastra, F. (s/f). *Una mirada de la tecnología desde la economía política*. Centro Cultural de la Cooperación Floreal Gorni. <https://www.centrocultural.coop/revista/12/una-mirada-de-la-tecnologia-desde-la-economia-politica>
- Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3–42. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(88\)90168-7](https://doi.org/10.1016/0304-3932(88)90168-7)
- Lundvall, B.-Å. (2010). *National systems of innovation: Toward a theory of innovation and interactive learning* (This ed. 1. publ). Anthem Press.
- Mabro, R. (1983). La fijación del precio del petróleo: ¿está en juego el papel de la OPEP? En M. Wionczek, *Mercados mundiales de hidrocarburos. Situación presente, perspectivas y tendencias futuras* (1a ed., pp. 196–204). El Colegio de México.
- Mankiw, G. (1995). The growth of nations. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, 275–326.
- Mares, M. A. (2019, enero 29). *Pemex, costos y deuda: Retos*. El Economista. <https://www.economista.com.mx/opinion/Pemex-costos-y-deuda-retos-20190129-0041.html>
- Marx, K. (1982a). *Progreso técnico y desarrollo capitalista* (1a ed.). Siglo XXI Editores.
- Marx, K. (1982b). *Progreso técnico y desarrollo capitalista: Manuscritos 1861-1863*. Pasado y Presente.
- Marx, K. (2009). *El Capital: Crítica de la economía política. Libro primero, Vol. 2, Libro primero, Vol. 2.,. Siglo Veintiuno*.
- Mayer-Foulkes, D. (2010). Innovación y Desarrollo. En *La tecnología y la innovación como motores del crecimiento de México* (1a ed., Vol. 102, pp. 31–71). Fondo de Cultura Económica.
- Moreno, L. F. (2012). *Regulación del mercado de energía eléctrica en América Latina: La convergencia entre libre competencia e intervención estatal*. Universidad Externado de Colombia. <https://doi.org/10.4000/books.uec.125>
- Moulaert, F., Martinelli, F., Swyngedouw, E., & González, S. (2005). Towards Alternative Model(s) of Local Innovation. *Urban Studies*, 42(11), 1969–1990.
- Mulás, P. (1998). La tecnología en el contexto de los desarrollos social y económico. En F. Lara, *Tecnología: Conceptos, problemas y perspectivas* (1a ed., pp. 41–62). Siglo XXI Editores.
- Mulás, P. (2007). Investigación y desarrollo tecnológico de la industria energética. En J. L. Calva, *Agenda para el desarrollo. Política Energética* (1a ed., Vol. 8, pp. 129–137). Miguel Ángel Porrúa.
- Naciones Unidas. (s/f). *Sustainable Development—Goal 7. Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all*. <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg7>

- Nelson, R. R. (1981). Research on Productivity Growth and Productivity Differences: Dead Ends and New Departures. *Journal of Economic Literature*, 19(3), 1029–1064.
- Nelson, R. R. (Ed.). (1993). *National innovation systems: A comparative analysis*. Oxford University Press.
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (2004). *An evolutionary theory of economic change* (digitally reprinted). The Belknap Press of Harvard Univ. Press.
- National Nanotechnology Initiative (NNI). (s/fa). *Manufacturing at the Nanoscale*. <https://www.nano.gov/nanotech-101/what/manufacturing>
- National Nanotechnology Initiative (NNI). (s/fb). *New core-shell catalyst for ethanol fuel cells*. <https://www.nano.gov/node/2474>
- National Nanotechnology Initiative (NNI). (s/fc). *Sustainable Energy Applications*. <http://www.nano.gov/you/nanotechnology-benefits>
- National Nanotechnology Initiative (NNI). (s/fd). *What is nanotechnology?* <https://www.nano.gov/nanotech-101/what/definition>
- National Nanotechnology Initiative (NNI). (s/fe). *What is Nanotechnology?* National Nanotechnology Initiative. <http://www.nano.gov/nanotech-101/what/definition>
- National Nanotechnology Initiative (NNI). (2018). *The National Nanotechnology Initiative Supplement to the President's 2019 Budget*. <https://www.nano.gov/sites/default/files/NNI-FY19-Budget-Supplement.pdf>
- Ocampo, J. A., Stallings, B., Bustillo, I., Velloso, H., & Frenkel, R. (Eds.). (2014). *La crisis latinoamericana de la deuda desde la perspectiva histórica* (Primera edición). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) : Cooperación Alemana Deutsche Zusammenarbeit : CAF, Banco de Desarrollo de América Latina.
- Organización de Estados Americanos (OEA). (2019). *TLCAN - NAFTA - Capítulo VI*. http://www.sice.oas.org/Trade/nafta_s/CAP06.asp
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). *Objetivos de Desarrollo del Milenio*. https://www.who.int/topics/millennium_development_goals/about/es/
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (s/f). *La Agenda de Desarrollo Sostenible*. Desarrollo Sostenible. <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/la-agenda-de-desarrollo-sostenible/>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2018). *La función de la ciencia, la tecnología y la innovación en el aumento considerable de la proporción de energía renovable para el año 2030*. Consejo Económico y Social.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2009a). *OECD Reviews of Innovation Policy: Mexico*. http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/science-and-technology/oecd-reviews-of-innovation-policy-mexico-2009_9789264075993-en#page4
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2009b). *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.

- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2010). *Perspectivas OCDE: México Políticas Clave para un Desarrollo Sostenible*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
<http://www.oecd.org/mexico/45391108.pdf>
- Páez, A. (2012). Sostenibilidad urbana y transición energética: Un desafío institucional. *BitáCora Arquitectura*, 0(24), 64–73.
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). (s/f). *Historia*.
<http://www.pemex.com/acerca/historia/Paginas/default.aspx>
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). (2018). *Estados financieros dictaminados*.
<http://www.pemex.com/ri/finanzas/Paginas/estados-financieros-dictaminados.aspx>
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). (2019, febrero 27). *Reporte de resultados no dictaminados* [PEMEX presenta sus resultados al cuatrimestre de 2018].
<http://www.pemex.com/ri/finanzas/Reporte%20de%20Resultados%20no%20Dictaminados/Reporte%204T18.pdf>
- Pérez, C. (2003). Revoluciones tecnológicas, cambios de paradigma y de marco socioinstitucional. En J. Aboites & G. Dutrénit, *Innovación, aprendizaje y creación de capacidades tecnológicas* (1a ed., pp. 13–46). Miguel Angel Porrúa.
- Prades, A. (1997). *Energía, tecnología y sociedad*. Ediciones De la Torre.
- Pruitt, T. R., Hochella, M. F., Hull, M. S., Marr, L. C., Michel, F. M., Pruden, A., & Vikesland, P. J. (2018). NanoEarth (National Center for Earth and Environmental Nanotechnology Infrastructure). En *Nanotechnology Environmental Health and Safety* (pp. 169–192). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813588-4.00008-7>
- Ramsden, J. J. (2011). What is Nanotechnology? En *Nanotechnology* (pp. 1–14). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096447-8.00001-6>
- Ramsden, J. J. (2016). What is nanotechnology? En *Nanotechnology* (pp. 1–18). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39311-9.00007-8>
- Rivera Ríos, M. A., & Caballero, R. (2015). Desarrollo económico y cambio tecnológico. Una revisión teórica y metodológica. En A. Ranfla, M. A. Rivera Ríos, & R. Caballero, *Desarrollo económico y cambio tecnológico. Teoría, marco global e implicaciones para México* (1a ed., pp. 63–95). Juan Pablos Editor.
- Red Nacional de Nanociencias y Nanotecnología (RNyN). (s/f). *Nanored—Miembros*.
<http://www.nanored.org.mx/listaMiembros.aspx>
- Roco, M. C., Mirkin, C. A., & Hersam, M. C. (2010). *Nanotechnology research directions for societal needs in 2020. Retrospective and outlook*. World Technology Evaluation Center (WTEC).
- Rogers, D. (2020). *Shale and Wall Street*. <https://shalebubble.org/wall-street/>
- Romer, P. (1986). Returns and long-run Growth. *The Journal of Political Economy*, 94(5), 1002–1037.
- Royal Society (London, G. B., & Royal Academy of Engineering (London, G. B. (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties*. Royal Society.
- Rubin, I. I. (2019). *Essays on Marx's theory of value*. Indo European Publishing.

- Sábato, J., & Botana, N. (s/f). *La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina*.
- Sagasti, F. R. (Ed.). (1981). *El factor tecnológico en la teoría del desarrollo económico* (1a ed.). El Colegio de México. <https://doi.org/10.2307/j.ctv6mtcmp>
- Sala-i-Martin, X. (2000). *Apuntes de Crecimiento Económico* (2a.). Antoni Bosch.
- Sandoval, L. (2009). La reforma energética y la inversión extranjera directa en el petróleo mexicano, 1948-2008. *Dimensión económica*, 1(0).
<https://rde.iiec.unam.mx/revistas/cero/articulos/articulo3/articulo3cap21.html>
- Schettino, M. (2009). El mito de la energía en México. *Nueva Sociedad / Democracia y política en América Latina*, 220, 138–153.
- Schumpeter, J. A. (1957). *Teoría del desenvolvimiento económico* (2a ed.). Fondo de Cultura Económica.
- Secretaría de Energía, S. (2014). *Estrategia nacional de energía 2014-2028*. Gobierno de la República.
- Secretaría de Gobernación, D. O. de la F. (2014). *DECLARATORIA de vigencia de las normas mexicanas NMX-R-10867-SCFI-2014, NMX-R-10929-SCFI-2014, NMX-R-27687-SCFI-2014, NMX-R-80004-1-SCFI-2014 y NMX-R-80004-3-SCFI-2014*.
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5364702&fecha=20/10/2014
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015). *Guía de Programas de Fomento a la Generación de Energía con Recursos Renovables*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/47854/Guia_de_programas_de_fomento.pdf
- Secretaría de Energía (SENER). (2012). *Prospectiva de energías renovables 2012-2026*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2012-2026.pdf
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). (s/f). *Decreto de creación del Instituto Mexicano del Petróleo*.
<http://www.shcp.gob.mx/lashcp/marcojuridico/Energia/Organizacion/dcimp.pdf>
- Sheinbaum, C. (2008). Análisis y alternativas de política energética nacional. *Argumentos (México, D.F.)*, 21(58), 11–29.
- Smil, V. (2017). *Energy transitions: Global and national perspectives* (Second edition). Praeger, an imprint of ABC-CLIO, LLC.
- Soete, L., Verspagen, B., & ter Weel, B. (2010). Systems of Innovation. En *Handbook of the Economics of Innovation* (Vol. 2, pp. 1159–1180). Elsevier.
[https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02011-3](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02011-3)
- Solís, A. (2018, abril 25). *Las empresas que llegaron a México para sacar petróleo*. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/las-empresas-que-llegaron-a-mexico-para-sacar-petroleo/>
- Solís, A. (2019, enero 25). *El fracking se hace presente en 7 estados de la república* • Forbes México. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/el-fracking-se-hace-presente-en-7-estados-de-la-republica/>
- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94.

- Takeuchi, N., & Mora Ramos, M. (2011, diciembre). Divulgación y formación en nanotecnología en México. *Mundo Nano*, 4(2), 59–64.
- The Shift Project Data Portal. (s/f). *Historical Energy Production Statistics*. <http://www.tsp-data-portal.org/Energy-Production-Statistics#tspQvChart>
- Torres, A. (2006). Aprendizaje y constucción de capacidades tecnológicas. *Journal of Technology Management & Innovation*, 1(5), 12–24.
- Truman, H. S. (1949, enero 20). *Inaugural Address of Harry S. Truman* [Discurso inaugural]. https://avalon.law.yale.edu/20th_century/truman.asp
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2017). *Nanotechnology is a growing research priority*. http://www.unesco.org/new/en/media-services/single-view/news/nanotechnology_is_a_growing_research_priority/
- Vance, M. E., Kuiken, T., Vejerano, E. P., McGinnis, S. P., Hochella, M. F., Rejeski, D., & Hull, M. S. (2015). Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6, 1769–1780. <https://doi.org/10.3762/bjnano.6.181>
- Wennersten, R., Fidler, J., & Spitsyna, A. (2008). Nanotechnology: A New Technological Revolution in the 21st Century. En K. B. Misra (Ed.), *Handbook of Performability Engineering* (pp. 943–952). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-131-2_57
- White, L. (1943). Energy and the Evolution of Culture. *American Anthropologist*, 45(3), 335356.
- Williamson, J. (2008). A short history of the Washington Conensus. En N. Serra & J. E. Stiglitz, *The Washington Consensus Reconsidered* (pp. 14–30). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199534081.001.0001>
- Wylie, R. (s/f). *Great things from small things*. EniDay. https://www.eniday.com/en/technology_en/nanotechnology-in-renewable-energy-sector/
- Zogopoulos, E. (2019). *Nord Stream: A Roadmap for Secure and Safe Gas for Europe or a Continental Power Play?* Energy Industry Review. <https://energyindustryreview.com/analysis/nord-stream-a-roadmap-for-secure-and-safe-gas-for-europe-or-a-continental-power-play/>