

Financiamiento público para nanotecnologías: el caso de Fomix y Fordecyt

*Mtra. Ángeles Ortiz-Espinoza**

*Dr. Guillermo Foladori***

*Dr. Edgar Záyago Lau****

Resumen: Las nanotecnologías son consideradas de interés estratégico en los planes de desarrollo de México, en donde el papel del Estado es un aspecto central para impulsar el sector. El objetivo del presente trabajo fue hacer un análisis de estadística descriptiva de los proyectos aprobados por los Fondos Mixtos (Fomix) y de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (Fordecyt), cuyo financiamiento fue destinado para la investigación en nanotecnologías, así como clasificar los proyectos a partir de dos vertientes: una correspondiente al potencial sector económico de aplicación, y otra en cuanto al principal nanomaterial sobre el cual gira la investigación, a fin de catalogar los proyectos con respecto al sector económico que se pretende impulsar.

Palabras clave: Fomix, Fordecyt, nanotecnologías, nuevos materiales, Conacyt.

Public financing for nanotechnologies: the case of Fomix and Fordecyt

Abstract: Nanotechnologies are considered of strategic interest in Mexico's development plans, where the role of the State is a central

* Universidad Autónoma de Querétaro – Unidad de Estudios del Desarrollo. Líneas de investigación: industria 4.0, nanotecnología, redes 5G, políticas públicas.

**Universidad Autónoma de Querétaro – Unidad de Estudios del Desarrollo
Líneas de investigación: Capital global y estudios geoestratégicos, ciencia, tecnología y desarrollo, capital, ambiente y desarrollo.

*** Universidad Autónoma de Querétaro – Unidad de Estudios del Desarrollo. Líneas de investigación: Ciencia, tecnología y desarrollo, Capital global y estudios geoestratégico.

aspect to promote the sector. Of the wide range of public policies, the Mixed Funds were one of the most promising aspects. to carry out a descriptive statistical analysis of the projects approved by the Mixed Funds and the Institutional Funds for Regional Promotion for Scientific, Technological and Innovation Development, the financing of which was destined for research in nanotechnologies, as well as classifying the projects from two aspects: one corresponding to the potential economic sector of application, and another regarding the main nanomaterial on which the research revolves, in order to catalog the projects with respect to the economic sector that is intended to promote.

Keywords: Fomix, Fordecyt, nanotechnologies, new materials, Conacyt.

Introducción

Al igual que las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y las biotecnologías, las nanotecnologías han sido calificadas como áreas estratégicas para el desarrollo (Foladori, 2016). Las nanociencias y nanotecnologías estudian la materia en escala nanométrica y sus formas de manipulación. Aunque ya desde los años 80 se habla del desarrollo de las nanotecnologías a partir del despliegue de microscopios atómicos que midiesen con precisión en esta escala (Foladori y Ortiz-Espinoza, 2021), la mayor parte de su desarrollo se ha dado de forma exponencial desde comienzos del siglo XXI como resultado del gran apoyo financiero de los países capitalistas más desarrollados, y con base en las amplias potencialidades que ofrecen esas tecnologías al manifestar propiedades físico-químicas y biológicas diferentes a los mismos materiales en escala mayor (Royal Society y Royal Academy of Engineering, 2004).

Muchos países han colocado a las nanotecnologías como áreas estratégicas para el desarrollo a la par de las tecnologías de la información y la comunicación y las biotecnologías, entre otras. Agencias internacionales como la Organización de Estados Americanos (OEA) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) han incentivado y sugerido que los países prioricen el desarrollo de las nanotecnologías por su gran potencial económico (Foladori, 2016) al tratarse de tecnologías multipropósito y facilitadoras de

algunas otras (Bresnahan y Trajtenberg, 1995; Shea y col., 2011). Uno de los principales sectores de desarrollo de las nanotecnologías por su tendencia a fabricar dispositivos cada vez más pequeños y con mayor capacidad, es la industria electrónica (Foladori y Ortiz-Espinoza, 2021).

Al igual que la mayoría de los países de América Latina, desde el 2001 México ha considerado a las nanotecnologías como estratégicas en sus planes de desarrollo, específicamente en los programas especiales de ciencia, tecnología e innovación. No obstante, nunca ha elaborado un plan definido que resalte las principales áreas a impulsar y sus efectos en las cadenas productivas (Arteaga Figueroa y col., 2020; Foladori y col., 2015; Robles-Belmont y De Gortari, 2014). Es importante mencionar que, como es el caso del resto de las naciones latinoamericanas, en México no existe normatividad obligatoria que regule el desarrollo y la implantación de las nanotecnologías, pues únicamente se consideran algunas normas voluntarias gestionadas por organismos privados o semiprivados (Ortiz-Espinoza y col., 2022)

Esto es de suma importancia al menos por dos razones. La primera es que, al desatar manifestaciones novedosas, los nanomateriales y dispositivos asociados pueden desarrollar riesgos diferentes a los conocidos para los mismos materiales en tamaño mayor, lo cual hace de un plan de desarrollo y regulador de las nanotecnologías un aspecto crucial para un desarrollo sustentable (Foladori y Invernizzi, 2012). La segunda razón por la que es importante un programa de desarrollo específico para el área, es el carácter facilitador de las nanotecnologías, que permiten su aplicación en cualquier sector económico (Schultz y Joutz, 2010; Shea y col., 2011), con lo cual los esfuerzos de apoyo público bien pueden diluirse al no tener un rumbo conectado a las prioridades nacionales.

Por otro lado, se ha visto que el Estado desempeña un papel fundamental tanto en el avance tecnológico como en la generación de capacidades para enfrentarse a las disrupciones tecnológicas; sin la participación estatal no hubiera sido posible la aparición de importantes cambios tecnológicos ni de las investigaciones o agencias que les dieron origen (Ruelas, 2019). Tal como señala Mazzucato (2018), organizaciones como la NASA; ARPA-E y el mismo Silicon

Valley no hubiesen existido de no ser por la inversión pública que posibilitó su creación y desarrollo. Cabe señalar que el auge en la investigación y desarrollo de las nanotecnologías fue un proceso llevado a cabo de manera *top down*; existieron importantes financiamientos estatales a fin de incentivar la investigación y el desarrollo (I&D) en esta área y, consecuentemente, la producción y el mercado de productos con nanotecnología. Ejemplo de ello es la Iniciativa Nacional de Nanotecnología del gobierno de Estados Unidos, lanzada en el año 2000, con la que las nanotecnologías se consideraron como una posible solución a cualquier problema público. Esta iniciativa ocasionó que otros países invirtieran en I&D sobre nanotecnologías a fin de no quedar rezagados en el proceso de desarrollo tecnológico: la participación estatal fue fundamental para impulsar la I&D y demás elementos que la acompañan: el sistema de propiedad intelectual, la gobernanza y los procesos productivos y de mercado (Foladori, 2009).

Existe una importante cantidad de publicaciones científicas sobre aspectos parciales del desarrollo de las nanotecnologías en México. Las hay sobre políticas públicas comparadas (Foladori y col., 2015), sobre comercialización de productos y cadenas de producción (Foladori y col., 2018) y sobre estudios de riesgo (Záyago-Lau, y col., 2017), por mencionar algunas; sin embargo, poco se ha escrito sobre programas gubernamentales específicos que apoyen el desarrollo de la nanotecnología en el país.

Además de esta breve introducción, el presente texto se compone de tres apartados principales. Primeramente, son expuestos a detalle los materiales y métodos utilizados para el análisis descriptivo, con énfasis en la clasificación de los proyectos de acuerdo con el potencial sector económico de aplicación, y al principal nanomaterial sobre el cual gira la investigación apoyada con recursos de Fomix y Fordecyt. En seguida se lleva a cabo el análisis de resultados derivado del proceso explicado en la sección de materiales y métodos, así como una breve discusión sobre los resultados. Para terminar, son expuestas algunas conclusiones que retoman puntos importantes de lo revisado a lo largo del documento. Es importante señalar que si bien el presente análisis es mayormente descriptivo, sus implicaciones son de gran importancia debido a que, como se ha mencionado anteriormente,

existen pocos estudios en relación con la inversión estatal en el desarrollo de nanotecnología, por lo que esta primera aproximación da pie para futuras investigaciones de mayor profundidad y alcance metodológico.

Materiales y métodos

Desde finales del siglo XX, el desarrollo de los países es parte de un creciente proceso de encadenamientos productivos internacionales. El estudio de las cadenas de producción y de valor muestra que determinadas corporaciones pueden subordinar la participación de empresas y países a su dinámica a través de medios económicos, políticos y tecnológicos, o por medio de una combinación de estos factores (Mayer y Gereffi, 2010; Gereffi y col., 2018). Las políticas públicas se debaten para encontrar un equilibrio entre los intereses nacionales y las presiones y demandas internacionales.

Este artículo empleó los conceptos de cadena de producción o cadena de valor como trasfondo teórico para analizar la información de los proyectos de nanotecnologías auspiciados por los Fomix y el Fordecyt; el trabajo clasifica a los proyectos a partir de dos vertientes. La primera de éstas correspondiente al potencial sector económico de aplicación, y en la segunda se identificó el principal nanomaterial sobre el cual gira la investigación. A partir de esta clasificación fue posible catalogar los proyectos con respecto del sector económico que se pretende impulsar, así como en relación con el tipo de nanomaterial estudiado, lo que abre la posibilidad de posteriores investigaciones sobre los encadenamientos productivos al considerar el primer eslabón de la cadena y el sector económico que apoya.

Los resultados pueden complementar y asociarse con varias investigaciones publicadas en México: aquellas resultantes de cienciométrías (Robles-Belmont y Vinck, 2011; Robles-Belmont, 2012; Robles-Belmont y De-Gortari, 2014), estudios sobre políticas públicas en nanotecnología (Foladori y col., 2015), análisis de patentes (Foladori, y col., 2018; Arteaga y col., 2020) o trabajos sobre las cadenas de producción de los dispositivos en el mercado con componentes nanotecnológicos (Foladori y col., 2018), entre otras.

El presente artículo analizó bases de datos no estudiadas previamente: fondos administrados en asociación entre los gobiernos estatales y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) denominados Fomix. El texto también considera los proyectos de nanotecnología financiados por el Fordecyt, cuya información fue intercalada en el análisis de los Fomix por haber sólo tres proyectos relacionados con temas de nanotecnología. Para efectos de claridad de exposición, la información de los Fomix aparece individualizada.

El análisis se llevó a cabo con base en la información del Padrón de Beneficiarios del Fondo Mixto Conacyt y gobiernos estatales para el periodo de 2001 a 2019, lapso dentro del cual fueron seleccionados aquellos que contenían en su título el término “nano*”; se encontró un total de 74 proyectos realizados entre 2002 y 2013. Esto no debe interpretarse como una disminución de la importancia de estas tecnologías a partir de 2013, sino que ellas se han integrado como procesos “naturales” de investigación y desarrollo en prácticamente todos los sectores económicos, y otros términos han ocupado el lugar en la publicidad, como es el caso de las llamadas Industria 4.0 que están ampliamente basadas en nanotecnologías. Los tres proyectos de Fordecyt sobre nanotecnología incorporados en años posteriores y hasta el 2019, son un indicador de la vigencia de la temática. El periodo de los proyectos corresponde a los años más importantes del *boom* que han tenido las nanotecnologías en los ámbitos mundial y nacional entre finales del primer quinquenio del siglo XXI y mediados de la segunda década.

Tanto los Fomix como el Fordecyt formaban parte del Programa Presupuestario de Fomento Regional de las Capacidades Científicas, Tecnológicas y de Innovación S278, el cual apoyaba el desarrollo científico y tecnológico de los gobiernos subnacionales en México y estaba constituido por un fideicomiso con recursos de los tres órdenes de gobierno. Ambos fondos forman parte de los 109 fideicomisos extinguidos por decreto en 2020 (Diario Oficial de la Federación, DOF, 2020).

A diferencia del Fordecyt, cuyo objetivo principal era contribuir al desarrollo económico regional a través de acciones científicas, tecnológicas y de innovación, los Fomix apoyaban proyectos en ciencia

y tecnología que respondieran a prioridades y demandas específicas establecidas por los propios gobiernos subnacionales, la gran mayoría de orden estatal; sólo se encontró registro de dos gobiernos municipales con este tipo de apoyos: Ciudad Juárez y Puebla capital. Cualquier persona inscrita en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (Reniecyt) podía ser sujeto de apoyo (Conacyt, 2020).

El propósito de analizar los proyectos de investigación sobre nanotecnología es tener un panorama de los temas que se han venido abordando. Esta información puede dilucidar intereses de los estados y de los investigadores. La distribución de los proyectos por entidades y áreas geográficas es elocuente de su especialización en estas tecnologías. Para todos los proyectos se contó con información sobre el estado que lo patrocina, el año, el nombre del proyecto, la modalidad, el responsable técnico, la institución donde éste trabaja y el monto recibido. En muchos casos también con las palabras clave y el resumen. La información disponible abarca el periodo de 2001 a 2019, aunque proyectos de nanotecnología se obtuvieron sólo para el intervalo del 2002 al 2013 y alcanzaron 74 casos. En lo que respecta a Fordecyt, existen tres proyectos de nanotecnología correspondientes a los años de 2016, 2018 y 2019.

El interés del estudio se centró en los proyectos de investigación propiamente dichos que corresponden a lo que Conacyt cataloga como modalidad A y modalidad B, esto es, investigación científica, y desarrollo e innovación tecnológica, respectivamente. Sin embargo, en el análisis se hace referencia a proyectos de otras modalidades.

El primer paso consistió en identificar los proyectos de nanotecnología dentro del total de proyectos aprobados en Fomix en el periodo 2001-2019. No se obtuvo información de los proyectos presentados y no aprobados; esto es importante porque el potencial interés estatal por la temática puede no verse reflejada en los proyectos aprobados. Para ello se utilizó la información disponible en internet, que se reduce al título, aunque en ocasiones también incluye el resumen y las palabras clave. En la mayoría de los casos los títulos son extensos y permiten identificar temas de nanotecnología. Frente a dudas al respecto, se optó por acudir a las páginas web de las

instituciones que recibieron el apoyo o de los responsables técnicos y de allí se obtuvo información adicional. De manera que el análisis combinó la información estadística disponible con una revisión manual de los proyectos en caso de que fuera necesario obtenerla. Por cuestiones de disponibilidad de la información, el presente texto no profundiza en las descripciones de los proyectos presentados a los fondos que se revisan.

Para identificar los proyectos de nanotecnología de la base estadística se utilizó un primer acercamiento con el término “nano*”. La experiencia de investigaciones anteriores sobre el tema indica que puede haber proyectos de nanotecnología que no incluyan dicho término, o que lo incluyan y no sean sobre nanotecnología. La lectura del título y demás informaciones permitió aclarar los casos dudosos y el resultado coincidió con los datos estadísticos obtenidos.

El segundo paso consistió en identificar la orientación del proyecto de investigación aprobado. Si bien el Conacyt distingue cinco modalidades, investigación científica; desarrollo e innovación tecnológica; formación de recursos humanos; creación y fortalecimiento de infraestructura, y difusión y divulgación, para fines del análisis estas modalidades fueron reagrupadas en tres. En el primer grupo se incluyen las dos primeras categorías que corresponden a lo que se conoce como investigación básica y aplicada (63 proyectos). En el segundo grupo se consideraron la modalidad de formación de recursos humanos junto con difusión y divulgación, ya que ambos corresponden a la formación académica y a la formación de la población en general (tres proyectos). El tercer grupo corresponde con el de infraestructura (ocho proyectos, de los que tres fueron reclasificados en una modalidad distinta a la asignada por Conacyt considerando la temática que analizan). En el caso de los proyectos de Fordecyt, los tres corresponden a investigación.

Luego se identificó el potencial del sector económico de aplicación. Para ello se trabajó exclusivamente con el grupo correspondiente a investigación básica y aplicada, es decir, modalidades A y B del Conacyt. El propósito fue entender la potencialidad de la investigación en el contexto de una posible cadena productiva. Aunque se trata de un ejercicio exploratorio, debido a la escasez de información disponible muchos de los proyectos aprobados hacen explícita la

mención al potencial uso y, en varios casos, se recurrió a la búsqueda de información adicional en las páginas web del responsable o de la institución. Utilizando ambos acercamientos se logra establecer la conexión entre el proyecto de investigación y el sector potencial de aplicación en el 87% de los casos. Para la selección de los sectores económicos se siguió la clasificación del Centro Nacional de Ciencias de la Fabricación (NCMS, por sus siglas en inglés: National Center for Manufacturing Sciences) (NCMS, 2010) con leves modificaciones para identificar proyectos dirigidos a remediación ambiental y distinguiendo entre energías de hidrocarburos de energías limpias (solar, viento, etc.). En total fueron utilizadas nueve categorías y una más para “otros”.

En seguida se identificó el principal nanomaterial utilizado. La identificación de la materia prima es fundamental desde el punto de vista del encadenamiento productivo y de la dependencia internacional, ya que para eventuales fines industriales, mucha materia prima debe ser comprada en el mercado internacional. Frente a la diversidad de nanomaterias primas utilizadas se optó por seguir el agrupamiento que utiliza la Unión Europea en el Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Productos Químicos (REACH, por sus siglas en inglés: Registration, Rvaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) (REACH, 2011) con mínimas modificaciones, llegando a ocho categorías más una abierta. (Toda la información fue consolidada en excel, a disposición de los interesados; la fuente original puede consultarse en el sitio web del Conacyt)

Resultados y discusión

De las 32 entidades federativas que componen la república mexicana, 19 contaron con participaciones aprobadas en la convocatoria de Fomix que incluían proyectos relacionados con nanotecnología de manera explícita. Estos se concentraron en el periodo comprendido entre 2002 y 2013.

La suma de todos los proyectos sobre nanotecnología alcanzó un monto aproximado de 190 millones de pesos, apenas el 2% del monto total de proyectos Fomix para el mismo periodo. La mayoría se otorgaron en sólo tres años (de 2008 a 2010); este aumento desproporcional con respecto a los años previos a 2008 y posteriores a 2010 se debe a que

prácticamente la mitad de los fondos fueron destinados a la creación de infraestructura en esos años, mayoritariamente en el estado de Nuevo León, mismo que, en el conjunto de los fondos otorgados, obtuvo el 63% de los apoyos (véase tabla 1).

Además de las entidades federativas que aparecen enunciadas en la siguiente tabla, en el periodo 2008-2010 estados como Baja California, Coahuila, CDMX, México, Hidalgo, Jalisco, San Luis Potosí, Sonora y Veracruz recibieron financiamiento para proyectos de nanotecnología. No obstante, el financiamiento es de menos del 3% del total; Veracruz fue la entidad que recibió la mayor cantidad de recurso: poco más de 4 millones de pesos, mientras que el presupuesto más bajo lo obtuvieron Jalisco (\$180,000) y Baja California (\$745,200). Otros estados que recibieron apoyo en años distintos al periodo señalado han sido Aguascalientes, Michoacán, Puebla, Quintana Roo, Zacatecas y Querétaro; este último recibió el monto más alto: 2 millones de pesos en 2012, mientras que el más bajo lo obtuvo Michoacán, con sólo 300 mil para el año 2006.

Tabla 1. Total de fondos para proyectos de nanotecnología por Fomix entre 2002 y 2013. Distribución por estados con más del 5%, y detalle del trienio 2008-2010

Estados que otorgaron fondos para nanotecnología	Total otorgado (pesos)	%	Total otorgado entre 2008 y 2010 (pesos)
Estados con menos del 3% de los fondos	27 338 781	14	17 227 896
Chihuahua	6 092 477	2	4 954 476
Guanajuato	8 445 964	5	1 796 964
Morelos	9 100 750	5	6 000 000
Yucatán	20 000 000	11	20 000 000
Nuevo León	118 603 350	63	91 100 220
Total	189 581 322	100	141 079 557 (74.4 %)

Fuente: elaboración propia con base en información del Conacyt (2020).

La información de la tabla 1 debe compararse con los únicos tres proyectos de nanotecnología aprobados por el Fordecyt, ya que suman casi 104 millones de pesos, y corresponden a los estados de Baja California, Morelos y Ciudad de México. El caso de Baja California es significativo porque sólo para un proyecto se asignaron más de 55 millones de pesos, lo cual es más que lo aportado por Fomix en cualquier estado, exceptuando Nuevo León. La Ciudad de México, otra de las entidades favorecidas por Fordecyt, recibió por un proyecto más de 34 millones de pesos, que la ubica en una posición relativamente ventajosa en el contexto de este tipo de fondos para nanotecnología. Morelos, por su parte, con los casi 15 millones de pesos recibidos de Fordecyt, garantiza su lugar como estado puntero en nanotecnologías (Conacyt, 2020).

Como se ha mencionado, Conacyt separa los fondos por modalidad: A) Investigación científica; B) Desarrollo e innovación tecnológica; C) Formación de recursos humanos; D) Creación y fortalecimiento de infraestructura, y E) Difusión y divulgación. Para fines del análisis se han reagrupado estas modalidades en tres. En el primer grupo se distinguen la investigación básica y la investigación aplicada, que corresponde a A+B. En el segundo grupo se incluyen la formación de recursos humanos académicos y de la población en general, corresponde a C+E. El tercer grupo toma en cuenta los proyectos de infraestructura que coinciden con la modalidad C. En la tabla 2 se puede observar esta distribución para el periodo completo.

Tabla 2. Proyectos Fomix por modalidad. Reagrupados según criterios propios

Modalidad	Total	Monto (pesos)	Porcentaje
Investigación básica y aplicada	63	87 618 618	46
Formación de recursos humanos (profesionales y de la población -divulgación científica)	3	6 315 200	3
Creación y fortalecimiento de infraestructura	8	95 647 503	51

Total	74	189 581 321	100
--------------	-----------	--------------------	------------

Fuente: elaboración propia con base en información del Conacyt (2020)

Como se ha señalado, la mitad de los fondos fueron destinados a infraestructura (51%) y algo menos de la mitad a investigación (46%). La modalidad de formación, tanto de recursos profesionales como de capacitación de la población mediante divulgación científica, no fue considerada de importancia en la distribución general de los fondos (3%), o bien no se presentaron proyectos bajo tal modalidad.

Por otro lado, tal y como se menciona en el apartado de materiales y métodos, corresponde ahora analizar el sector potencial de aplicación. Para esto se restringió la información a los proyectos de investigación (sea básica o aplicada). La relevancia de los proyectos es analizada, en este caso, en relación con los montos financiados, en lugar de la cantidad de proyectos, ya que el volumen de fondos refleja más directamente la importancia económica estratégica en la dinámica de las nanotecnologías. La tabla 3 consolida esta información.

Tabla 3. Proyectos de investigación según sector económico potencial de aplicación de los resultados

Potencial sector de aplicación	Total de proyectos apoyados	Monto financiado (pesos)	Fordecyt (pesos)
AER (Aeroespacial)	1	3 999 000	
AGA (Agricultura & alimentos)	4	7 374 000	
BIO (Biotecnología)	1	800 000	
CON (Construcción)	6	9 643 260	
ELI (Energías limpias)	5	3 531 146	14 565 453
ESE (Electricidad y semiconductores)	9	5 004 715	
FMC (Farmacia, medicina, cosmética)	10	13 300 473	34 095 760
MEC (Metal mecánica)	3	2 761 195	
PAP (Papel & celulosa)	3	4 964 300	
PLA (Plásticos & envases)	2	4 082 750	
QUI (Química & procesos)	2	743 000	
REM (Remediación ambiental)	5	7 088 075	
TRA (Transporte y automovilístico)	5	10 516 745	
+ 2 (más de dos sectores potenciales)	3	11 674 960	
N/D (no hay información disponible)	4	2 135 000	55 200 000
Total	63	87 618 619	103 861 213

Fuente: elaboración propia con base en información del Conacyt (2020)

Si se excluyen aquellos proyectos con dos o más sectores potenciales y los que no tienen información disponible, quedan 73'808,659 pesos, lo que refleja una distribución equitativa, aunque el sector de farmacia, medicina y cosmética (FMC) despunta con algo más de 13 millones de pesos que, sumados a lo aportado por Fordecyt, lo convierte en el sector prioritario. Luego, transportes y automovilístico (TRA) con 10.5 millones de pesos, seguido de construcción (CON) con 9.6 millones, y agricultura y alimentos (AGA) con 7.4 millones. Un análisis más detallado de cada proyecto podría determinar el grado

de integración más efectiva a potenciales cadenas de producción, por ejemplo, determinando la relación con otras cadenas de producción en las que México tenga importancia estratégica.

Una revisión de los subsectores potenciales de aplicación muestra que todos los proyectos del grupo FMC están dentro de los rubros farmacia y medicina, y no el de cosmética. De los proyectos sobre remediación ambiental, la mitad está dirigido a contaminación aérea y la otra mitad a contaminación del agua. De los cinco proyectos del sector transporte, cuatro de ellos corresponden a investigaciones para la industria automovilística.

El siguiente paso consistió en determinar la principal nanomateria prima requerida para los proyectos de investigación (tabla 4).

Tabla 4. Nano material requerido como materia prima en los proyectos de investigación

Nano materia prima	Cantidad de proyectos	Monto financiado (pesos)
Metales y aleaciones	11	11 981 464
Carbono	9	10 557 214
Compuestos	9	10 065 795
Polímeros y dendrímeros	7	22 172 050
Biomateriales	6	6 216 000
Cerámicos	5	7 270 956
Modelización	4	3 399 473
Otros	8	12 537 667
N/D	4	3 418 000
Total	63	87 618 619

Fuente: elaboración propia con base en información del Conacyt y catálogos de nanomateriales (2020)

La distribución de los nanomateriales empleados es semejante a lo que ocurre en el mundo. Lo importante en este caso es notar que existe una amplia distribución en el interés por los mismos. Posiblemente debido a las fechas de los proyectos, los cuales terminan en 2013, el grueso de los proyectos de carbono corresponde a nanotubos, según el detalle de la categorización en el interior del grupo, cuando hoy en día, en el ámbito internacional, el grafito ha cobrado mayor relevancia. La distribución de los fondos otorgados por nanomaterial también refleja

una importante diversificación, en particular si se quita el rubro modelización, que es a todas luces más económico.

En términos comparativos, el estado de Nuevo León mostró una clara tendencia a incentivar las nanotecnologías (Záyago-Lau, 2011), no sólo por haber otorgado la mayor parte del total agregado de los fondos, sino porque el grueso de ellos lo destinó a obras de infraestructura y capacitación, lo que refleja una visión de más largo plazo de especialización en la temática. Ahora bien, basándose en investigaciones previas sobre nanotecnologías en México (Záyago-Lau y col., 2014; Foladori y col., 2015) y dado el carácter de tecnología facilitadora (Schultz y Joutz, 2010; Shea y col., 2011), puede afirmarse que aquellos incentivos podrían fácilmente acrecentar la inequidad entre las entidades federativas de no existir una política nacional integradora de las especialidades regionales. El objetivo principal del programa proponía la disminución de las diferencias entre regiones y estados; sin embargo, una de las consecuencias de otorgar a las entidades federativas la facultad de que fueran éstas las que decidieran qué proyectos podrían proponerse en función de sus áreas prioritarias, generaba ciertos obstáculos para la consecución del objetivo propuesto, es decir, las áreas prioritarias aplicables suelen ser aquellas en las que los estados son más competitivos económicamente, por ende, la diferenciación persiste e incluso se incrementa, ya que lo que se estaba financiando eran fortalezas, no necesariamente debilidades.

Fomix ha privilegiado los fondos para infraestructura e investigación; la capacitación de personal profesional y la divulgación pública de la ciencia y tecnología no han sido áreas de interés. Esto supone que existen otros programas para incentivar la formación, o bien que hay suficientes científicos disponibles. Dado que las nanotecnologías constituyen tecnologías novedosas y mayormente interdisciplinarias (Jamali y col., 2018), aquellos supuestos son discutibles y una política de largo aliento debe reconocer la importancia de la formación y divulgación.

La distribución de los proyectos de investigación y fondos según los potenciales sectores de aplicación muestra una gran diversificación. Al no tener información sobre las cadenas de producción presentes en cada uno de los estados y los potenciales requerimientos de incorporación

de nanotecnologías, resulta incierto lo que tal diversificación pueda ilustrar. Se trata, no obstante, de información elocuente sobre la necesidad de dirigir los proyectos de investigación hacia sectores previamente señalados como estratégicos en los ámbitos nacional, regional o estatal, de manera que sea posible concentrar esfuerzos y recursos. Es significativo que el rubro de FMC haya recibido la mayor cantidad de fondos, ya que, a reserva de un análisis más detallado, refleja la preocupación por aplicaciones más directamente sociales de las nanotecnologías. Es interesante señalar que no se encontraron proyectos destinados a energía de hidrocarburos, aunque sí hubo cinco para energías limpias (solar y viento) y un gran proyecto de Fordecyt en el caso de aplicaciones fotovoltaicas.

Los principales nanomateriales utilizados reproducen las tendencias internacionales y el amplio abanico no permite identificar prioridades. En nanomateriales cerámicos, por ejemplo, no aparecen detalles más específicos en la mayoría de los proyectos, pero entre los que sí se identifican están el dióxido de titanio, el óxido de zinc y el dióxido de silicio, que son también los más encontrados en la literatura internacional.

Conclusiones

Las nanotecnologías son consideradas de interés estratégico en los planes de desarrollo de México, en donde el papel del Estado es un aspecto central para impulsar el sector. En este sentido, de la amplia gama de políticas públicas los Fondos Mixtos y el Fordecy eran de las vertientes más promisorias. El objetivo del presente trabajo fue hacer un análisis de estadística descriptiva de los proyectos aprobados por los Fomix y los Fordecyt, cuyo financiamiento fue destinado para la investigación en nanotecnologías, así como clasificar los proyectos a partir de dos vertientes: una correspondiente al potencial sector económico de aplicación, y otra en cuanto al principal nanomaterial sobre el cual gira la investigación, a fin de catalogar los proyectos con respecto del sector económico que se pretende impulsar.

La estadística descriptiva se basó en la información de los fondos mencionados, además de incluir una sistematización y categorización según el tipo de nanomaterial. Igualmente, esta sistematización da

cuenta de los principales nanomateriales utilizados, así como los potenciales sectores económicos hacia donde están dirigidas las investigaciones, además de otras informaciones de contexto.

El interés del estudio se centró en los proyectos de investigación que corresponden a lo que Conacyt cataloga como modalidad A (investigación científica) y modalidad B (desarrollo e innovación tecnológica). Para el desarrollo de la metodología, primero se identificaron los proyectos de nanotecnología dentro del total de proyectos aprobados en Fomix y en Fordecyt en el periodo 2001-2019. En seguida se identificó la orientación del proyecto de investigación aprobado de acuerdo con criterios propios, aunque considerando los que establece el Conacyt. Posteriormente, se identificó el potencial del sector económico de aplicación, para lo que únicamente se tomaron en cuenta los proyectos correspondientes a investigación básica y aplicada. Por último, se identificó el principal nanomaterial utilizado, lo cual es fundamental desde el punto de vista del encadenamiento productivo y de la dependencia internacional.

Dentro de los principales hallazgos, encontramos que son cinco las entidades federativas que agrupan el 85% de los fondos destinados a nanotecnología para el periodo de 2008 a 2010. Sumando a los fondos de los estados de Nuevo León, Yucatán, Morelos, Guanajuato y Chihuahua, se alcanzan más del 85% del total de los Fomix para nanotecnología. Una especialización regional puede ser importante si se toma en cuenta la integración a cadenas de producción específicas. La mayoría de los Fomix para nanotecnología fueron otorgados para el gobierno de Nuevo León y dedicados mayormente a la construcción de infraestructura y de laboratorios. Resulta interesante mostrar la preocupación hacia áreas de directa aplicación social, como es el caso de salud y de remediación ambiental, que juntos ocupan una cuarta parte de los fondos destinados a investigación.

Finalmente, es importante destacar que, de acuerdo con los propios lineamientos de los fondos, el objetivo principal del Programa Presupuestario de Fomento Regional de las Capacidades Científicas, Tecnológicas y de Innovación, al que pertenecían los Fomix y el Fordecyt, era la disminución de las diferencias entre las regiones y los estados. Una de las consecuencias de otorgar a las entidades federativas la

facultad de decidir qué proyectos podrían proponerse según sus áreas prioritarias, es que generó obstáculos para la consecución del objetivo, pues éstas suelen ser las áreas en las que los estados son más competitivos económicamente, por lo que la diferenciación entre regiones y estados persiste e incluso se incrementa: lo que se financió fueron fortalezas, más no necesariamente debilidades.

Agradecimientos y financiamiento:

Esta investigación forma parte del Proyecto de Conacyt *Ciencia de Frontera 2019* No. 304320 y del proyecto de Ciencia Básica CONACYT A1S9013.

Referencias

- Arteaga, E. R., Záyago Lau, E., y 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): 1-22.
- Conacyt (2020). *Fondos Mixtos – Proyectos apoyados*. [En línea]. Disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/fondos-mixtos/10-contenido-estatico/188-fondos-mixtos-proyectos-apoyados>. Fecha de consulta: 15 de diciembre de 2020
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2020). DECRETO por el que se ordena la extinción o terminación de los fideicomisos públicos, mandatos públicos y análogos. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5591085&fecha=02/04/2020. Fecha de consulta: 25 de enero de 2020
- Foladori, G. (2016). Políticas públicas en nanotecnología en América Latina. *Problemas del Desarrollo*. 186(47): 59-82
- Foladori, G., Arteaga-Figueroa, E., Záyago-Lau, E., Appelbaum, R., Robles-Belmont, E., Villa, L., ..., and Leos, V. (2015). Nanotechnology in Mexico: Key Findings Based on OECD Criteria. *Minerva*. 53(3): 279-301.
- Foladori, G. y Invernizzi, N. (2012). *Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina y el Caribe*. ReLANS IPEN. [En línea]. Disponible en: <http://ipen.org/sites/>

- [default/files/documents/ipen_nano_latin_amer-es.pdf](#). Fecha de consulta: 10 de octubre de 2020
- Foladori, G., Invernizzi, N., Osma, J. F. y Záyago-Lau, E. (2018). *Cadenas de producción de las nanotecnologías en América Latina*. Colombia: Universidad de los Andes. 189 Pp.
- Foladori, G., Robles-Belmont, E., Arteaga-Figueroa, E. R., Appelbaum, R., and Autor, E. (2018). Patents and nanotechnology innovation in Mexico. *Recent Patents on Nanotechnology*. 12(3): 243-256.
- Gereffi, G., Humphrey, J., y Sturgeon, T. (2018). The Governance of Global Value Chains. In G. Gereffi (Ed.), *Global Value Chains and Development: Redefining the Contours of 21st Century Capitalism* (pp. 108-134). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, F. and Gereffi, G. (2010). Regulation and Economic Globalization: Prospects and Limits of Private Governance. *Business and Politics*. 12(3): 1-25.
- Jamali, H.R., Azadi-Ahmadabadi, G. y Asadi, S. (2019) Interdisciplinary relations of converging technologies: Nano–Bio–Info–Cogno (NBIC). *Scientometrics*.116: 1055–1073.
- Mazzucato, M. (2018, septiembre 5). Is the Government More Entrepreneurial Than You Think? (Ep. 348) [Entrevista]. <https://freakonomics.com/podcast/mariana-mazzucato/>
- NCMS, National Center for Manufacturing Sciences (2010). 2009 NCMS Study of Nanotechnology in the U.S. Manufacturing Industry. National Center for Manufacturing Sciences & National Science Foundation. [En línea]. Disponible en: http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/2009_ncms_Nanotechnology.pdf. Fecha de consulta: 15 de diciembre de 2020
- REACH, Competent Authorities subgroup on Nanomaterials (2011). *Types and uses of nanomaterials*. Bruselas: European Commission. Documento CASG Nano/03/2011.
- Robles-Belmont, E. (2012). Progresión de las nanociencias en México: Una perspectiva a partir de redes. In G. Foladori, E. Záyago y N. Invernizzi (Eds.), *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina* (pp. 163-180). Miguel Ángel Porrúa.
- Robles-Belmont, E. and De-Gortari, R. (2014). Nanosciences and

- Nanotechnologies without National Initiative? In S. Ramani (Ed.), *Nanotechnology:- What's in it for emerging countries?* (pp. 182-201). Reino Unido: Cambridge University Press, Cambridge.
- Royal Society y Royal Academy of Engineering (2004). Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties, en *Royal Society: Royal Academy of Engineering*. [En línea]. Disponible en: https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/publications/2004/9693.pdf. Fecha de consulta: 27 de mayo de 2021
- Ruelas, I. (2019, diciembre 12). Gasto público en ciencia y tecnología en México, ¿por qué, cómo y para qué? | Distancia por tiempos [Nexos]. Distancia por tiempos. <https://educacion.nexos.com.mx/gasto-publico-en-ciencia-y-tecnologia-en-mexico-por-que-como-y-para-que/>
- Schultz, L. I. and Joutz, F. L. (2010). Methods for identifying emerging General Purpose Technologies: A case study of nanotechnologies. *Scientometrics*. 85(1): 155-170.
- Shea, C. M., Grinde, R., and Elmslie, B. (2011). Nanotechnology as general-purpose technology: Empirical evidence and implications. *Technology Analysis & Strategic Management*. 23(2): 175-192.
- Záyago-Lau, E. (2011). A Nanotech Cluster in Nuevo Leon, Mexico. Reflections on its Social Significance. *Nanotechnology Law and Business Journal*. 8(1): 49-59.
- Záyago-Lau, E., Foladori-Foladori, G. e Invernizzi, N. (2017). La experiencia de las ONG y sindicatos en la concepción del riesgo de las nanotecnologías. En R. Soto-Esquivel Marquez, H. y G. González (Eds.), *Privatización de los bienes comunes* (pp. 229-249). México: MA Porrúa
- Záyago-Lau, E., Frederick, S., and Foladori, G. (2014). Twelve years of nanoscience and nanotechnology publications in Mexico. *Journal of Nanoparticle Research*. 16(1): 1-10.