

Problematización de la investigación en nanotecnología agrícola y alimentaria en el marco de la nueva política de ciencia, tecnología e innovación en México

Problematization about agricultural and food nanotechnology research in the framework of the new science, technology and innovation policy in Mexico

Mónica Anzaldo Montoya*,† y Luis Hernández-Adame**

ABSTRACT: Debates in the literature on science, technology and innovation (STI) policy argue the importance of reconciling the supply and demand of scientific knowledge to ameliorate social inequalities. In this paper, we problematize the supply and demand of scientific knowledge in the field of agricultural and food nanotechnology (NT) in the context of a change in the conception of STI policy that accompanies the arrival of the new federal government in 2018. To operationalize these dimensions, we first mapped the research projects approved by the National Council of Science and Technology in the period 2012-2019. Subsequently, we examine the research demands established by the council around agri-food systems. In doing so, we discuss the conditions of possibility that agricultural and food NT has to respond to such demands. We conclude that the changes in the conception of science mean new research priorities for the country's agri-food systems, among them, contributing to food sovereignty and the substitution of agrochemicals in the field; but moreover, they pose challenges to reflect on: How can we make agricultural and food NT contribute to achieve a fair agriculture with rural producers and be respectful with the environment?

KEYWORDS: nanotechnology, agri-food nanotechnology, science and technology policy, agri-food systems, Mexico.

RESUMEN: Los debates en la literatura sobre políticas de ciencia, tecnología e innovación (CTI) argumentan la importancia de reconciliar la oferta y la demanda de conocimientos para enfrentar las desigualdades sociales. En este trabajo, problematizamos la oferta y la demanda de conocimientos científicos en el campo de la nanotecnología (NT) agrícola y alimentaria, en el contexto de un cambio en la concepción de la política de CTI que acompaña la llegada del nuevo gobierno federal en el año 2018. Para operacionalizar estas dimensiones, primero realizamos un mapeo de los proyectos de investigación aprobados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en el periodo 2012-2019. Posteriormente, examinamos las demandas de investigación establecidas por el consejo en torno a los sistemas agroalimentarios. Con ello, discutimos las condiciones de posibilidad que tiene la NT agrícola y alimentaria para responder tales de-

Recibido: 2 de junio 2021.

Aceptado: 27 de octubre 2021.

Publicado: 21 de abril 2022.

* El Colegio de San Luis A. C., San Luis Potosí, México.

** Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Conacyt (Cibnor). La Paz, B. C. S., México.

† Autora de correspondencia: monica.anzaldo@colsan.edu.mx



mandas. Concluimos que los cambios en la concepción de ciencia significan nuevas prioridades de investigación para los sistemas agroalimentarios del país, entre ellos, contribuir a la soberanía alimentaria y la sustitución de agroquímicos en el campo; pero más aún, plantean retos para reflexionar sobre: ¿cómo podemos hacer para que la NT agrícola y alimentaria contribuya a alcanzar una agricultura justa con los productores rurales y respetuosa con el ambiente?

PALABRAS CLAVE: nanotecnología, nanotecnología agrícola y alimentaria, políticas de ciencia y tecnología, sistemas agroalimentarios, México.

Introducción

El debate acerca de la necesidad de que las políticas de ciencia y tecnología orienten la investigación a la solución de los problemas más acuciantes de la sociedad ha crecido en importancia, aunque no se trata de algo nuevo. En el campo de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología (CyT), esta problemática se ha abordado desde diferentes perspectivas, sin embargo, hay que reconocer que, aunque en términos globales la humanidad ha logrado construir sistemas científicos altamente productivos y complejos, es necesario seguir indagando la cuestión de cómo hacer que la ciencia se fortalezca como un bien público y contribuya a reducir las desigualdades sociales.

En la literatura de políticas de ciencia, tecnología e innovación (CTI), esta problemática ha sido planteada en términos de una persistente brecha entre la producción de conocimiento y su uso social para la toma de decisiones (Kreimer y Zabala, 2006; Lemos, Kirchhoff y Ramprasad, 2012). Sarewitz y Pielke (2007) lo denominan como una falla en la reconciliación entre las agendas de investigación y las necesidades sociales, debido a la falta de políticas de CyT adecuadas para alinear la *oferta y demanda* de conocimiento. Esta es justamente la problemática que se ha tenido en México, en donde existen dificultades para que la investigación científica se entrelace de mejor manera con las demandas sociales y se amplíe el aporte de la ciencia.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este artículo es problematizar la producción de conocimientos científicos en nanotecnología (NT) agrícola y alimentaria a la luz del cambio de concepción¹ de la política de CTI, que acompaña la llegada del nuevo gobierno federal en 2018. Por su parte, en el área agrícola, la agronanotecnología se pronostica como una de las disciplinas con mayor crecimiento; su rápido desarrollo ha permitido crear nuevos productos y sistemas que pretenden combatir los problemas relacionados con la disponibilidad del agua, cambio climático, aridez, degradación de los ecosistemas, control de plagas y patógenos, entre otras muchas cosas. Por otro lado, estos beneficios tienen como contraparte un incremento en la exposición a los riesgos de algunos nanomateriales, pues los nuevos productos desarrollados para el sector

¹ Tomamos la noción de concepción de la socióloga Rosalba Casas, quien ha desarrollado un marco analítico para analizar las políticas de CTI a partir de este concepto. Por concepción de ciencia entendemos el “conjunto de ideas que expresa la visión de actores sociales específicos con respecto a la política de ciencia y tecnología” (Casas y Dettmer, 2003: 198), la cual orienta las acciones del Estado con respecto a estas actividades.

agrícola (por ejemplo, fertilizantes o pesticidas) abren nuevas posibilidades de integración a los ecosistemas y al cuerpo humano (Kah *et al.*, 2018; Lacey, 2017).

Si asumimos que la política de CTI es uno de los principales instrumentos con que cuenta el Estado para establecer las prioridades de investigación nacionales y con ello modificar las agendas de investigación de los científicos,² resulta importante preguntarnos ¿cuáles son esas prioridades de investigación nacionales?, ¿qué concepción de ciencia las orientan?, y, ¿qué retos supone para la investigación en el campo de la NT agrícola y alimentaria, en términos de su avance como campo científico y en lo relacionado con la comprensión, evaluación, comunicación y control de los potenciales riesgos a la salud humana y al ambiente?

La perspectiva analítica que adoptamos en esta investigación es la noción de “oferta y demanda de conocimiento” de Daniel Sarewitz y Roger A. Pielke (2007). Así, los autores “conceptualizan la ciencia en términos de la “oferta” de conocimientos, los resultados sociales en términos de una función de “demanda” que busca aplicar el conocimiento para alcanzar objetivos sociales específicos; la relación entre las dos como “reconciliada” a través del proceso de toma de decisiones de política científica” (Sarewitz y Pielke, 2007: 6).

En términos operacionales, para este estudio consideramos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) como el agente que establece un conjunto de demandas o prioridades de investigación a la comunidad científica nacional, para atender los problemas del sistema agroalimentario del país. Más concretamente, bajo esta conceptualización entendemos como demanda de conocimiento los temas de investigación establecidos por la política de ciencia, tecnología e innovación relacionada con los sistemas agroalimentarios y la nanotecnología agrícola y alimentaria de México. El sistema agroalimentario comprende el conjunto de procesos económicos, sociales, políticos y territoriales asociados con la producción, distribución, comercialización y consumo de los alimentos.

El artículo se divide en los siguientes apartados: el primero explica el marco analítico de la investigación, seguido de los aspectos metodológicos. El tercer apartado ubica la NT agroalimentaria en el contexto del mercado global. El cuarto, presenta la discusión y resultados de la investigación y, finalmente, las conclusiones generales.

Marco analítico

Una definición tradicional de política científica es la de Jean-Jaques Salomon, pionero en este tema, quien la define como “las medidas colectivas que toma un gobierno para fomentar el desarrollo de la investigación científica y tecno-

² Las agendas de investigación son dependientes de diferentes factores, entre ellos, el tipo de gobernanza científica, la dinámica interna del campo de investigación, las tendencias internacionales, el entorno social, histórico y cultural donde se genera el conocimiento, y las trayectorias personales (subjetividades) de los investigadores.

lógica, con el propósito de utilizar los resultados de la investigación para objetivos políticos generales” (Salomon, 1977: 45-46, citado por Elzinga y Jamison, 1996: 2). Por su parte, Beatriz Ruivo la define como “los instrumentos de política que se formulan para el uso y regulación del sistema de investigación (Ruivo, 1994: 157). Para esta autora, regular el sistema de investigación significa ajustar los insumos (entradas) y los productos (salidas) de dicho sistema, es decir, recursos económicos, dotación de infraestructura, a cambio de nuevos investigadores y productividad científica. Con un entendimiento similar del tema, Sanz-Menéndez señala que son las “acciones gubernamentales que apoyan las actividades incluidas en la ciencia y tecnología y, al mismo tiempo, de políticas que canalizan estas actividades científico-técnicas hacia el cumplimiento de los fines del Estado” (Sanz-Menéndez, 1997: 19).

Con base en lo anterior, cuando hablamos de política de ciencia y tecnología nos ubicamos en la manera en que los gobiernos plantean un fin y un propósito para la ciencia, y diseñan instrumentos y programas específicos para orientar las actividades asociadas a ella. Teóricamente, la forma en que operan las políticas de CyT expresan una relación de delegación entre el Estado, como principal, y el consejo o agencia gubernamental que brinda el apoyo, como su agente, quien cumple la función asignada por el Estado, a través de los científicos, quienes, a su vez, tienen una relación de principal-agente con los consejos de ciencia.³ En consecuencia, como afirma la literatura sobre el tema, esta característica delegativa de la política científica le permite a los tomadores de decisión, vincular la asignación de recursos a criterios específicos con la calidad o el contenido de la investigación, lo que la convierte en uno de los principales instrumentos para que los gobiernos dirijan los sistemas de ciencia e innovación (Geuna, 2001, citado en Cocos y Lepori, 2020: 2).

A pesar de los avances en el estudio y diseño de políticas de CyT, se reconoce que es un largo camino el que se requiere transitar desde que el conocimiento se genera hasta que este se moviliza para atender problemas sociales. Por ello, para nuestro análisis acudimos al planteamiento que hacen Daniel Sarewitz y Roger A. Pielke (2007) sobre la reconciliación entre las prioridades de investigación (oferta de conocimiento) y las necesidades sociales (demanda de conocimiento) a través de las políticas de CTI.

Sarewitz se pregunta, cómo a través de las políticas de CTI es posible mejorar el valor social de la ciencia, cómo sabemos si estamos haciendo la ciencia correcta, particularmente en estos tiempos en los que hay más científicos que nunca, se publican millones de artículos y la ciencia está más di-

³ La teoría del principal-agente explica una relación en la que un actor llamado principal, acuerda con otro, llamado agente, que realice una tarea a cambio de una compensación, de tal suerte que exista un beneficio para ambos. No obstante, esta relación social no es perfecta, de ella derivan diversas situaciones como la asimetría de información, el riesgo moral y muchas incertidumbres que influyen negativamente en el cumplimiento de la tarea delegada. Sobre la teoría del agente-principal aplicada a la política de CTI véase Dietmar Braun y David H. Guston (2003). Para una revisión del tema en español, Remo Fernández-Carro (2009).

versificada y especializada que en cualquier otro momento de la historia (Sarewitz, 2007). Sin negar la multiplicidad de dimensiones implicadas en estas preguntas, los autores sugieren mirar la situación como un problema de reconciliación entre la oferta y la demanda de conocimientos, y lo plantea de la siguiente manera:

la ciencia en términos de “oferta” de conocimientos e información; los resultados sociales, en términos de una función de “demanda” que busca aplicar el conocimiento para alcanzar objetivos sociales específicos, y la toma de decisiones de política científica como un proceso dirigido a reconciliar la relación dinámica entre oferta y demanda. (Sarewitz y Pielke, 2007: 6).

Esta conceptualización forma parte del proyecto teórico de Daniel Sarewitz quien busca entender la compleja dinámica que existe entre la formulación de políticas de ciencia, las agendas de investigación y el valor público de los resultados de la ciencia. Dicha conceptualización ayuda a plantear preguntas acerca del papel que adquieren las políticas de CTI no solo para orientar la investigación científica sino también para examinar en qué medida reconcilian los esfuerzos de investigación (oferta de conocimiento) con las necesidades sociales (demandas de conocimiento).

Para examinar los desajustes entre oferta y demanda de conocimientos, los autores plantean diversos abordajes metodológicos, pero, en general, la evaluación de la oferta comprende el examen de los actores que producen el conocimiento, la intensidad en la producción, las prioridades de las agendas de investigación, el tipo y nivel de financiamiento, la articulación con los usuarios del conocimiento, entre otros aspectos. Todo ello puede incluir el análisis bibliométrico, de contenido de los artículos, grupos focales, entre otros. Sin embargo, el análisis de los fondos competidos y la orientación del financiamiento a la ciencia, sigue siendo una buena forma de analizar el funcionamiento de las políticas de CTI (Cocos y Lepori, 2020). En esta investigación optamos por esta vía, la de mapear los proyectos de investigación financiados a miembros de la comunidad científica nacional en el marco de este tipo de fondos. La razón principal de esta decisión metodológica es porque los proyectos seleccionados por fondos competidos son los que precisamente responden a una demanda de investigación priorizada por el agente que otorga los fondos, lo que no sucede necesariamente con los artículos científicos, en caso de que se tomara la vía del estudio bibliométrico.

En la evaluación de la demanda se sugiere caracterizar a los actores usuarios del conocimiento (productores, funcionarios, políticos, empresas); los mecanismos de distribución del conocimiento sobre el tema específico y el impacto del conocimiento sobre los usuarios o sus instituciones (Sarewitz y Pielke, 2007: 12). Se trata, en última instancia, de obtener un mapa amplio del tipo de usuarios, sus capacidades de apropiación del conocimiento, el contexto sociopolítico, por mencionar algunas características.

La evaluación de las demandas de investigación comprende una mayor complejidad, pues se trata de indagar primero quiénes son los actores relevantes en un tema o problema social, qué aspectos de estos merecen ser investigados primero y cuáles requieren mayor financiamiento. De tal suerte que, como analistas, nos introduce en el terreno de los valores, de las preferencias políticas e ideologías.

Como señalamos en la introducción, en este trabajo adoptamos la conceptualización de “oferta y demanda de conocimiento” para analizar el desarrollo de la nanotecnología agrícola y alimentaria a la luz de los cambios en la concepción de ciencia que subyacen a la actual política de CTI. Por un lado, el Conacyt ha establecido un conjunto de prioridades de investigación, las cuales ha dado a conocer a través del *Programa institucional 2020-2024*, el proyecto de nueva Ley de CyT, los programas de financiamiento a proyectos y sus convocatorias, entre otros documentos, lo cual, para nosotros, conforma las demandas de investigación; por otro lado, los proyectos de investigación financiados por este Consejo se constituyen en este modelo en la oferta de conocimientos ante la actual política, permitiéndonos, así, discutir los retos de este campo de investigación ante la introducción de nuevas reglas del juego en el marco institucional y, en general, en la concepción del para qué del conocimiento científico.

Aspectos metodológicos

Para mapear la oferta de conocimientos relacionada con la (NT) agrícola y alimentaria tomamos como fuente de información los proyectos de investigación financiados por el Conacyt. Se optó por esta estrategia porque los proyectos aprobados por este Consejo son una fuente directa para conocer los más recientes temas de investigación que aborda la comunidad científica del país. Esta vía tiene sus limitaciones porque estamos tomando únicamente los proyectos aprobados por programas con recursos muy reducidos, sin embargo, también ha mostrado ser una forma adecuada para hacer un mapeo de las investigaciones en tecnologías emergentes como las NT. Por otra parte, hay que decir que en México se carece de información sistematizada y consultable, sobre proyectos, artículos, patentes y productos comerciales que utilicen nanotecnología, más allá de la que los interesados en el tema han logrado construir.

A partir de lo anterior, construimos una base de datos de proyectos de investigación relacionados con NT aplicadas a la agricultura y a la alimentación financiados por el Conacyt. La búsqueda arrojó una compilación de 22 proyectos aprobados entre los años 2013 a 2019 a través de los siguientes instrumentos: Proyectos de Desarrollo Científico para Atender Problemas Nacionales, Convocatoria de Investigación en Fronteras de la Ciencia, Fondos Mixtos y Ciencia de Fronteras (antes Convocatoria de Investigación Científica Básica). En este trabajo se excluyeron los proyectos del Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) de Conacyt, programa de la pasada administración que estaba dirigido ex-

clusivamente a estimular la innovación en las empresas. Estos se excluyeron porque nuestro interés es conocer la agenda de investigación de las instituciones académicas y sus comunidades, y no las agendas de investigación del sector industrial privado. Los resultados del mapeo de proyectos se presentan más adelante en la tabla 2 de esta investigación.

La problematización de la oferta y demanda de conocimientos en torno a nuestro objeto de estudio incluyó también el análisis de los aspectos discursivos de la política nacional de CTI. Para ello, acudimos a la revisión de los siguientes documentos de política: el Programa institucional Conacyt 2020-2024, la Convocatoria 2021 Propuestas para el desarrollo de proyectos nacionales de investigación e incidencia para la soberanía alimentaria y sus anexos.

Panorama global del mercado de la nanotecnología agrícola y alimentaria⁴

Esta sección tiene el objetivo de brindar un panorama del mercado de la nanotecnología aplicada a los sectores agrícola y alimentario. Conocer el desempeño comercial de la nanotecnología es todo un reto incluso para las autoridades gubernamentales. Esto debido a la falta de registros, inventarios, etiquetados y demás regulaciones que obliguen a las empresas a informar sobre los niveles de uso de nanomateriales, así como la comercialización de los mismos al interior y exterior de las fronteras. No obstante, algunos datos disponibles, que citaremos a continuación, son útiles como marco de referencia.

De acuerdo con la plataforma de información Nanotechnology Products Database (NPD), circulan en el mercado aproximadamente 9,000 productos con nanotecnología y poco más de dos mil empresas (StatNano, 2020). El 60% de los productos se encuentra en los sectores electrónico, farmacéutico, construcción, cosméticos y textiles.

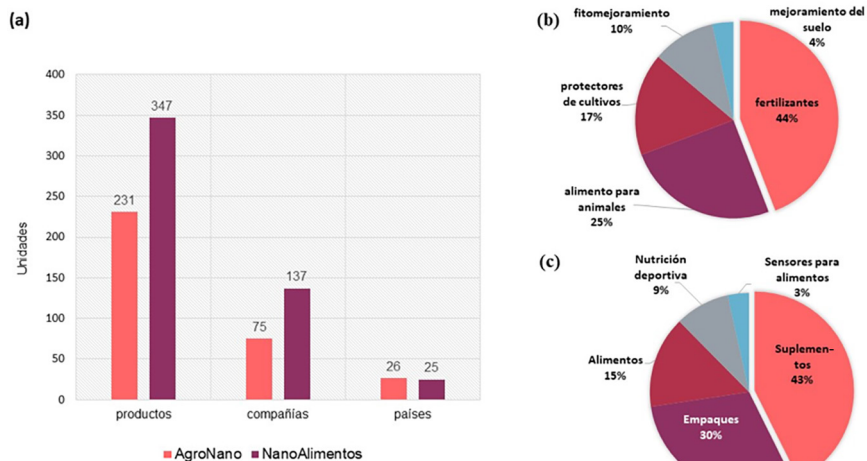
Estados Unidos de América (EUA) sigue siendo el país que más innovaciones nanotecnológicas genera, le sigue China, Alemania y Suiza. No obstante, es muy probable que este escenario se modifique en el mediano plazo en favor del gigante asiático, ya que ese país ha superado la producción científica de EUA. En 2020, de acuerdo con los datos del año 2020 reportados por el ISI Indexed Nano-articles Indicator, la producción científica global fue de 210,309 artículos científicos, de estos China publicó 85,480 artículos, lo cual significa el 40.6% del total de artículos en nanotecnología publicados en esa base de datos, le siguen EUA (27,330), India (18,939) e Irán (12,357). En este rubro México ocupa el lugar 28 con 1,915 artículos (StatNano, 2021).

Ahora bien, en lo que respecta a los sectores agroindustrial y alimentario, los datos disponibles muestran que es mayor la oferta de productos de

⁴ Se entiende por nanoalimentación cuando se utilizan nanopartículas, técnicas o herramientas de la nanotecnología durante el cultivo, la producción, el procesamiento o el envasado de los alimentos (Ranjan *et al.*, 2014).

consumo para el sector alimentario, principalmente suplementos (43%) y empaques para alimentos (30%), en comparación con los productos para el sector agroindustrial, dentro de los cuales destacan los fertilizantes (44%) y el alimento para animales (25%) (figura 1).

FIGURA 1. Mercado mundial de las nanotecnologías en la agroindustria y alimentos. a) Distribución del mercado por sector; b) principales aplicaciones en el sector agro-nano; c) principales aplicaciones en el sector nanoalimentos.



Fuente: Elaboración propia con datos de Nanotechnology Products Database (NPD), disponible en <https://product.statnano.com/>.

El desempeño de la NT en estos sectores parece estar presentándose de manera desigual y al mismo tiempo singular (tabla 1). Por ejemplo, mientras los países occidentales hegemónicos como EUA, Reino Unido y Alemania continúan apareciendo como los principales países fabricantes de productos con nanotecnología en el sector alimentario, otros países como Vietnam, India e Irán ocupan un lugar cada vez más destacado en el mercado de los nanoprodutos. Otro aspecto a mencionar es la existencia de varias organizaciones certificadoras de la calidad y seguridad de los productos en los países que compiten por el mercado de los nanoalimentos. Al final de la tabla 1 se muestran estas organizaciones, las cuales, a nivel de Estados, pueden exigir el cumplimiento de ciertas regulaciones (estándares y certificaciones técnicas). Sin embargo, al ser regulaciones voluntarias se entiende que la idea es no obstaculizar demasiado los mercados.

Es interesante el caso de India que además de especializarse en fabricar materiales como la coenzima Q10 (Vitamina C y E) muy demandada en el mercado de los cosméticos, también ha desarrollado nanomateriales con base en la curcumina, uno de los ingredientes tradicionales de su gastronomía. México, por su parte, registra en este inventario solo cuatro productos en los sectores

TABLA 1. Características del mercado global de la nanotecnología agroindustrial y alimentaria.

	Agricultura	Alimentación
Productos	231	347
Sub-sector	Fertilizantes (102)* Fitomejoradores (24) Protectores de cultivos (39) Alimento para animales (58) Mejoramiento del suelo (8)	Suplementos (148) Empaque (104) Alimentos (52) Nutrición deportiva (31) Sensores para alimentos (12)
Empresas	75 Neufarm GmbH (Turquía) Nano Agro Science Co-operative Society Ltd (India) Plant vitality Ltd (Reino Unido) APA United Nano Technology Co. LTD (Vietnam)	137 Advanced Sports Nutrition BioPharma Científica, Dose of Nature, NanoGreens, NanoSynergy Worldwide, Purest Colloids Inc.
Países	26 India, Alemania, EUA, Reino Unido, Vietnam	25 EUA, Australia, Irán, China, Rusia
Aplicaciones	Se comercializan más de ochenta tipos de aplicaciones principalmente para plantas, cereales, acuicultura, floricultura.	Se comercializan más de un centenar de aplicaciones, principalmente para empaques alimentarios, insumos para la industria alimentaria, productos para atletas, fortalecimiento de huesos, corazón y piel.
Nanomateriales	Plata (nanopartícula/nanopolvo) Dióxido de silicio (nanopartícula/nanopolvo) Potasio Calcio	Arcilla (nanopartícula/nanopolvo) Plata (nanopartícula/nanopolvo) Dióxido de titanio (nanopartícula/nanopolvo) Óxido de zinc Q10 (vitamina C y E)
Tipo de nanomaterial	Nanopartículas/nanopolvos Nano-cápsulas Nanoporoso	Nanopartículas/nanopolvos Nanoliposomas Nanocápsulas
Certificadores	5 certificaciones disponibles (obligatorias o voluntarias): ✓ FDA – EUA – Obligatoria ✓ Nano Scale – Iran Nanotechnology Innovation Council – Voluntaria ✓ Nano Certifica – Rusia – Voluntaria ✓ Nanohealth – Iran Food and Drug Administration – Obligatoria ✓ NANOVerify a cargo del Ministerio de Ciencia y Tecnología e Innovación de Malasia – Voluntaria	

* Los números entre paréntesis se refieren a la cantidad de productos.

Fuente: Elaboración propia con datos de <https://statnano.com/> (Consultado el 20 de marzo de 2021).

agroalimentarios: tres tipos de fertilizante marca Nubiotek de la empresa Bio-teska que utiliza nanomateriales de hierro, calcio y magnesio, y un aceite de cáñamo como suplemento alimenticio que contiene extractos de aceite puro de semillas de hemp (un miembro de la familia *Cannabis sativa*) y aceite de coco orgánico (*Cocos nucifera* L.), manufacturado por la empresa HempMeds.

Resultados y discusión

Mapeo de la oferta de conocimientos en nanotecnología agrícola y alimentaria

En esta sección presentamos la agenda de investigación pública en el tema que estamos estudiando, y que construimos con base en la metodología descrita.

El mapeo de los proyectos de investigación aprobados por el Conacyt dio como resultado 22 proyectos asociados con aplicaciones de las NT al sector agroalimentario de 2013 al 2019 (tabla 2). De estos, 7 fueron aprobados en la convocatoria de Proyectos para el Desarrollo Científico para Atender Problemas Nacionales, 5 en la convocatoria de apoyo a la Investigación Científica Básica del Fondo Sectorial de Investigación en Educación (FSIE), 7 en la Convocatoria Fronteras de la Ciencia, 2 en la Convocatoria Ciencia de Frontera y 1 en el Fondo Mixto del Estado de Zacatecas. El monto asignado para estos proyectos fue de \$31,374,303 teniendo en cuenta que no contamos con la información del monto aprobado de seis proyectos; en promedio, cada proyecto recibió \$1.4 millones de pesos.

Al clasificar los proyectos según la temática que atienden, el análisis muestra que el 64% son investigaciones orientadas a problemas del sector agrícola, 23% al de alimentos y 14% acuicultura. En relación con las instituciones, encontramos que las investigaciones se llevan a cabo en catorce centros de investigación y universidades, todos ellos públicos, destacando el Centro de Asistencia de Investigación y Diseño Tecnológico del Estado de Jalisco (CIATEJ) y el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Por otra parte, llama la atención que no encontramos ningún proyecto de las grandes universidades públicas del país como la UNAM o la UAM, instituciones que por su importancia nacional y experiencia científica se esperaba tuvieran algún proyecto. Tampoco se encontraron proyectos del INIFAP, centro de investigación especializado en tecnologías para el sector agropecuario.

En cuanto a la distribución geográfica de los proyectos en el territorio nacional, encontramos que estos se esparcen en tan solo diez entidades, especialmente en el centro y noreste del país más Jalisco. La distribución geográfica coincide con lo reportado en otras investigaciones que abordan las capacidades de investigación en NT, las cuales muestran que es el centro y el noreste del país donde se encuentran las instituciones que concentran infraestructura y grupos de investigación equipados (como, por ejemplo, CIMAV, UANL, CIQA, UASLP, UNAM).

Por otra parte, de entre los temas de investigación aprobados para los tres principales sectores identificados, destacan tres temas para el sector agrícola, que pueden dividirse en: 1) el desarrollo de agentes para el control de insectos y microorganismos patógenos; 2) desarrollo de nanofertilizantes para incrementar la calidad y cantidad de productos, y, 3) el desarrollo sustentable de la agricultura. Del mismo modo, para el sector de alimentos se observan proyectos relacionados con: 1) desarrollo de sistemas antimicrobianos, y, 2) desarrollo de sistemas catalíticos para la generación de subproductos. Por último, para el sector de acuicultura, se observan dos principales líneas: 1) desarrollo de vehículos de transporte para fármacos y biomoléculas, y, 2) desarrollo de nanofertilizantes y promotores de crecimiento.

TABLA 2. Proyectos de investigación en NT agrícola y alimentaria financiados por el Conacyt en el periodo de 2013-2019.

Año	Investigador Responsable	Institución	Entidad	Título	Área de orientación	Aplicación	Monto Aprobado
Ciencia de Frontera							
2019	Vicente Rodríguez González	IPICYT	SLP	Nanomateriales activos en aplicaciones de agricultura sustentable.	Agricultura	Nanomateriales para agricultura sustentable.	\$500,000
2019	-	CIATEJ	JAL	Hidrogeles nanocompuestos para aplicaciones en acuacultura .	Acuacultura	Nanocompuestos para acuacultura.	-
Desarrollo Científico para Atender Problemas Nacionales							
2013	Sadasivan Shaji	UANL	NL	Desarrollo de sistemas antimicrobianos a base de nanopartículas para incrementar la vida útil de frutas y vegetales .	Alimentos	Antimicrobianos para frutas y verduras.	\$1,000,000
2013	Anna Ilina	UAdeC	COAH	Alternativas nanobiotecnológicas para el aprovechamiento de residuos agroalimentarios para la obtención de biocompuestos de segunda generación.	Alimentos	Producción de biocompuestos.	\$1,000,000
2014	Claudia Anahi Pérez Torres	INECOL	VER	Fertilizantes nanoencapsulados. Una estrategia para garantizar la seguridad alimentaria y mitigar el impacto de la escasez de fósforo.	Agricultura	Fertilizantes nanoencapsulados.	\$4,000,000
2015	Gabriel Rincón Enríquez	CIATEJ	JAL	Nanobiocontrol inteligente de bacterias fitopatógenas (xanthomonas) de solanáceas de importancia agrícola en México.	Agricultura	Bactericidas (control biológico) chile y jitomate.	\$2,000,000
2015	Jorge Alberto García Fajardo	CIATEJ	NL	Nanoestructuras autoensambladas a base de biopolímeros naturales y su evaluación estabilizante de hierro para atender la desnutrición infantil .	Alimentos	Absorción de hierro en infantes.	\$1,200,000
2016	J. Gabriel Luna Bárcenas	CINVESTAV-QRO	QRO	Desarrollo de un insecticida nanotecnológico con alto valor agregado para contrarrestar altas pérdidas de poscosecha de frutos de guanábana (<i>Annona muricata</i> L.).	Agricultura	Insecticida para proteger plantas de guanábana.	\$4,000,000
2017	Erika Padilla Ortega	UASLP	SLP	Formulación de plaguicidas basados en tebuconazole y diuron empleando nanocápsulas de materiales biohíbridos de arcillas y biopolímeros.	Agricultura	Plaguicidas nanoencapsulados.	\$1,500,000

Continúa ▼

TABLA 2. Proyectos de investigación en NT agrícola y alimentaria financiados por el Conacyt en el periodo de 2013-2019 (continuación).

Año	Investigador Responsable	Institución	Entidad	Título	Área de orientación	Aplicación	Monto Aprobado
FOMIX-ZAC							
2013	Gabriel Rincón Enríquez	CIATEJ	JAL	Nanobiocontrol de tizón tardío y del halo para una producción sustentable de frijol en Zacatecas.	Agricultura	Control de enfermedades en el cultivo del frijol.	\$630,000
Investigación Científica Básica del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación (SEP-Conacyt)							
2015	María Cristina Chávez Sánchez	CIAD	SON	Estudio del efecto de nanopartículas de plata en virus, bacterias y parásitos de organismos acuáticos.	Acuicultura	Virus de camarón y parásitos de peces y moluscos.	\$2,705,000
2016	Fabián Fernández Luqueño	CINVESTAV-Salttillo	COAH	Mecanismos físicos, químicos y biológicos a través de los cuales las nanopartículas de Fe_2O_3 , ZnO y TiO_2 alteran la germinación, el crecimiento, desarrollo y rendimiento de maíz, frijol y girasol .	Agricultura	Evaluación de efectos del uso de nanopartículas en maíz, frijol y girasol.	\$2,000,000
2016	Mona Kassem	CIQA	COAH	Rendimiento fotosintético y expresión genética de proteínas involucradas en la ruta de biosíntesis de hule en plántulas de guayule dopadas con nanotubos de carbono.	Agricultura	Aplicaciones de nanotubos de carbono en plantas de guayule.	\$1,250,000
2017	Hortensia Ortega Ortiz	CIQA	COAH	Síntesis de complejos de nanopartículas de quitosán yodados y su evaluación como biofortificante, promotores del crecimiento y de la tolerancia al estrés de plantas .	Agricultura	Promotores de crecimiento para lechuga y tomate.	\$1,425,000
2017	Eber Addi Quintana Obregón	CIAD	SON	Respuestas transcriptómicas de complejos de <i>Colletotrichum</i> expuestos a nanopartículas de quitosano en un modelo <i>in vitro</i> (aplicaciones en mango).	Agricultura	Nanopartículas de quitosano con complejos fúngicos para enfermedades que atacan el mango.	\$1,481,000

Continúa ▼

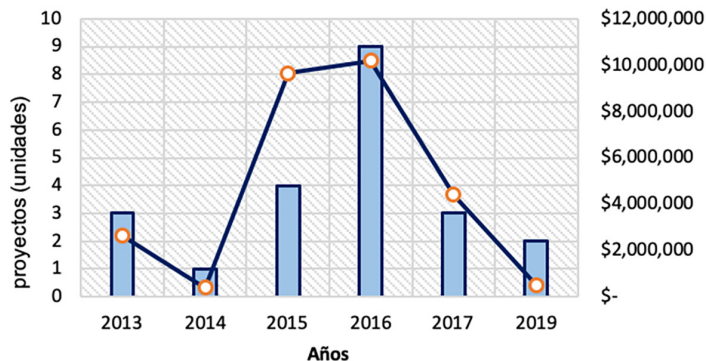
TABLA 2. Proyectos de investigación en NT agrícola y alimentaria financiados por el Conacyt en el periodo de 2013-2019 (continuación).

Año	Investigador Responsable	Institución	Entidad	Título	Área de orientación	Aplicación	Monto Aprobado
Fronteras de la ciencia							
2015	Ricardo Hugo Lira Saldivar	CIQA	COAH	Nanofertilizantes y promotores del crecimiento de plantas para una agricultura sustentable usando nanopartículas metálicas y grafenos.	Agricultura	Fertilizantes y promotores de crecimiento.	\$3,750,000
2016	Carlos Eliud Angulo Valadez	CIBNOR	BCS	Inmunomodulación funcional y comparada de las mucos por nano vacunas orales en crustáceos, peces y mamíferos .	Acuicultura	Nanovacunas orales en especies modelo de crustáceos, peces y mamíferos.	\$2,933,303
2016	Patricia Isabel Torres Chávez	UNISON	SON	Prolaminas de maíz y sorgo, estructura-funcionalidad en alimentos y materiales nanoestructurados	Alimentos	Aplicación no definida.	-
2016	Marlon Rojas López	IPN	CDMX	Diseño y desarrollo de nanoimmunosensores fluorescentes para la detección rápida de toxinas, patógenos y parásitos en agua y alimentos.	Inocuidad	Nanoimmunosensores para detección de toxinas y patógenos.	-
2016	Rosa Isela Ventura Aguilar	IPN	CDMX	Diseño de un sensor nanoestructurado para la determinación de índices de cosecha en frutas con potencial de exportación .	Agricultura	Sensor nanoestructurado para mejorar la cosecha de frutas.	-
2016	Gregorio Cadenas Pliego	CIQA	COAH	Síntesis de nanopartículas metálicas y estudio de sus aplicaciones en pinturas antimicrobianas de uso doméstico, tintas conductoras y mejoramiento de cultivos agrícolas.	Agricultura	Pinturas antimicrobianas para el mejoramiento de cultivos.	-
2016	Luis Manuel Carrillo López	UACH	CHI	Ultrasonido como tecnología asistida para la incorporación de nanopartículas metálicas en alimentos de origen animal.	Alimentos	Nanopartículas metálicas en alimentos de origen animal.	-

Fuente: Elaboración de los autores.

La figura 2 presenta la distribución de los proyectos de investigación y montos aprobados por año. Se observa una tendencia a la baja tanto en el número de proyectos, como en el monto económico otorgado. El pico de aprobación fue en 2016, y es probable que dada la escasez de recursos debido a la pandemia del virus SARS-COV-2 la aprobación de nuevos proyectos no logre recuperarse en el corto plazo.

FIGURA 2. Proyectos de investigación en nanotecnología agrícola y alimentaria.



Fuente: Elaboración propia con datos de Conacyt.

La nanotecnología agrícola y alimentaria en el marco de la política de ciencia, tecnología e innovación en México (las demandas de investigación)

En la política de CTI de las últimas décadas, la nanotecnología ha sido considerada un área estratégica, junto con otras tecnologías como la biotecnología, las tecnologías de la información, la genómica, entre otras. Particularmente, se le concibió como “una tecnología transversal con la capacidad de contribuir con el desarrollo tecnológico a través del desarrollo de materiales avanzados, nanomateriales y nanotecnología para incrementar el valor agregado en las industrias” (Conacyt, 2014).

Los analistas de esta tecnología han señalado reiteradamente la ausencia de un programa específico para esta tecnología; un programa que oriente los esfuerzos de investigación nacionales hacia áreas o sectores específicos (por ejemplo, nanomedicina, electrónicos, etc.), lo cierto es que el hecho de que la NT fuera considerada una prioridad en la política de CTI, favoreció la asignación de recursos y el que otros actores del sistema de investigación también la concibieran de esa manera, y la integraran en sus agendas institucionales.

Por una parte, las universidades crearon programas educativos de licenciatura y posgrado en nanotecnología, lo cual aumentó el acervo de científicos en el área; varios centros de investigación públicos se volcaron a la in-

vestigación en materiales, por ejemplo, el CIMAV y CIQA. Por su parte, la UNAM creó en Ensenada, Baja California, el Centro de Nanociencias y Nanotecnología, fortaleciendo la infraestructura científica, los laboratorios y las redes; la Sociedad Mexicana de Física creó un apartado para la difusión de esta tecnología, entre otras muchas acciones.

Por otra parte, el sector privado, generalmente en asociación con universidades y centros de investigación, se subió al tren de la NT. Se crearon nuevas empresas y parques de innovación y clústers, los cuales proporcionaban espacios para la incubación de empresas e infraestructura nanotecnológica para facilitar la adopción de la tecnología por parte de las empresas. En 2012, el INEGI y el Conacyt crearon el apartado para la nanotecnología en la Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET).

En suma, en México ha habido un despliegue y una institucionalización académica de las NT. Actualmente, el país ocupa el segundo lugar después de Brasil en el número de publicaciones científicas y en la generación de patentes. Ciertamente, lo que ha faltado es una planeación prospectiva que permita elaborar un mapa de ruta que integre la transversalidad en la política de CTI, es decir, que se conecte con otras políticas públicas (agricultura, salud, energía) y la descentralización territorial de las necesidades, es decir, que en el establecimiento de las demandas de investigación se involucre al sector público y privado de los estados. Lo especial en este mapa de ruta es que se defina qué tipo de nanotecnología queremos y a quiénes beneficia.

Ahora bien, las NT no son cualquier tecnología, son una tecnociencia,⁵ caracterizada por la complejidad, la incertidumbre y la ambigüedad en diversos frentes de la vida social (Renn y Grobe, 2010; Hermans *et al.*, 2012). Diversos estudios científicos provenientes tanto de la academia como de organizaciones ambientalistas han documentado ampliamente los riesgos a la salud humana y al ambiente que caracterizan a esta tecnología (Lacey, 2017; Kah, Kookana, Gogos y Bucheli, 2018; Pérez-Moreno *et al.*, 2021). De forma particular, hay que mencionar el informe de la Agencia Europea para el Ambiente (EEA, por sus siglas en inglés) de 2013 (European Environmental Agency), *Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation*, el cual clasifica las NT como un riesgo emergente, y advierte la necesidad de utilizar el enfoque precautorio. Otro informe es el titulado *Risk governance of nanotechnology applications in food and cosmetics* del Consejo Internacional de Gobernanza del Riesgo (IRG, por sus siglas en inglés) que, en 2008, publicó un análisis de riesgo sobre el uso de nanomateriales en los alimentos y cosméticos (Grobe, Renn y Jäger, 2008).

⁵ En términos breves y siguiendo a Javier Echeverría, las tecnociencias son proyectos de innovación en los que la ciencia trabaja para fines industriales y comerciales. La finalidad última es producir tecnologías útiles para la expansión global capitalista. Por su carácter multiactoral, la tecnociencia genera controversias éticas y políticas y efectos impredecibles en la naturaleza y la sociedad (Echeverría, 2003, citado en Linares Salgado, 2007).

En suma, la bioseguridad y riesgos por el uso de los nanomateriales en el sector agrícola y alimentario son temas muy importantes y complejos. Las regulaciones internacionales son todavía muy débiles y no permiten controlar su uso, este hecho se debe principalmente a la falta de estudios dirigidos en la bioseguridad. En palabras de Jorge Linares Salgado, especialista en filosofía de la tecnología, “los riesgos que genera la tecnociencia contemporánea no resultan solo de “errores humanos” o de fallos en los diseños, sino de la creciente complejidad de efectos encadenados entre las acciones humanas y los fenómenos naturales” (Linares Salgado, 2007: 61).

Tal situación de complejidad y potencial de efectos adversos no ha sido reconocida en la política nacional de ciencia, pues en esta ha predominado una visión universalista, apolítica y autónoma de la ciencia, más adelante retomaremos este tema.

Demandas de investigación para la nanotecnología agrícola y alimentaria

La llegada de un nuevo gobierno en México en 2018 significó cambios en la concepción de ciencia que prevalecía en gobiernos anteriores. La actual política de CTI ha sido plasmada en el Programa Institucional Conacyt 2020-2024 bajo los siguientes principios (Conacyt, 2020):

- a) Orientar el fortalecimiento de la comunidad científica y la generación de conocimiento a la búsqueda de soluciones a los grandes problemas nacionales, para contribuir al bienestar general de la población, al estricto cuidado del ambiente, al mantenimiento de la riqueza biocultural y la protección de los bienes comunes.
- b) Orientar la investigación hacia problemas nacionales concretos que, por su importancia y gravedad, requieren de una atención urgente y de una solución profunda y amplia, basada en el avance de las ciencias, en la integración de conocimientos y en la investigación.
- c) Generar las condiciones para la articulación de colectivos de investigación e incidencia interdisciplinarios, interinstitucionales y transectoriales, cuya labor permita identificar y comprender los problemas fundamentales que padece México, partiendo de enfoques territoriales, multiescalares, intergeneracionales, interculturales y de género.

Los principios que se acaban de mencionar es lo que se conoce en la literatura como *política científica explícita* (Herrera, 1995),⁶ y corresponde a las

⁶ Amílcar Herrera propuso las nociones de política explícita e implícita, la primera se expresa en la normatividad que planifica la ciencia de un país y en los discursos gubernamentales; la segunda es la que realmente determina el papel de la ciencia en la sociedad, es difícil de identificar, porque carece de estructuración formal. En países periféricos son más grandes las contradicciones y las tensiones entre una y otra política (Herrera, 1995).

ideas que expresan la visión que tiene el gobierno respecto a la función social de la ciencia, misma que se expresa en los documentos normativos, en su narrativa discursiva y, en este caso, en los temas prioritarios que el Conacyt establece en sus convocatorias. No nos abocaremos a discutir estas nuevas ideas, sino en revisar los retos que tiene la nanotecnología agrícola y alimentaria para responder a las demandas de investigación planteadas. La figura 3 presenta de manera sintética las demandas de investigación para atender los problemas de los sistemas agroalimentarios del país. En la figura integramos los objetivos de la política, enfatizamos las concepciones e identificamos los instrumentos y los temas que pueden o podrían ser atendidas por la NT agrícola y alimentaria.⁷

Como puede observarse, la NT ofrece enormes posibilidades para el desarrollo de la agricultura y sector alimentario. Desde un punto de vista científico y tecnológico, la NT permite desarrollar novedosos dispositivos utilizados como biosensores, nanofertilizantes, nanopesticidas, nanoplaguicidas, empaques inteligentes para conservar alimentos, formulación de tratamientos postcosecha o el impulso a una agricultura sustentable, entre otras muchas aplicaciones, que sin duda alguna, podrían ser las herramientas que podrían permitirnos reducir o eliminar el uso de agroquímicos nocivos del sector agropecuario, el desarrollo de novedosos marcadores moleculares, el saneamiento de suelos agrícolas o el desarrollo de dispositivos para modificar genéticamente las plantas y frutos e incrementar sus nutrientes. Todo esto, coincide con los productos que se necesitan para atender las demandas del sistema agroalimentario. Sin embargo, uno de los retos más importantes, es la vinculación entre el sector productivo y la academia. Estos dos actores son muy importantes, y debido a la naturaleza misma de cada uno, existe una brecha considerable de interacción que necesita ser reducida para abordar los problemas de manera local o regional, y con esto, dar soluciones reales a los problemas del sector agrícola. Este tema parece ser abordado en las nuevas convocatorias de Conacyt que incluyen dentro de los requisitos para las propuestas de investigación, que estas deben articularse con los pequeños productores rurales, en lugar de las grandes empresas; y que la investigación debe plantearse con ellos desde etapas tempranas.

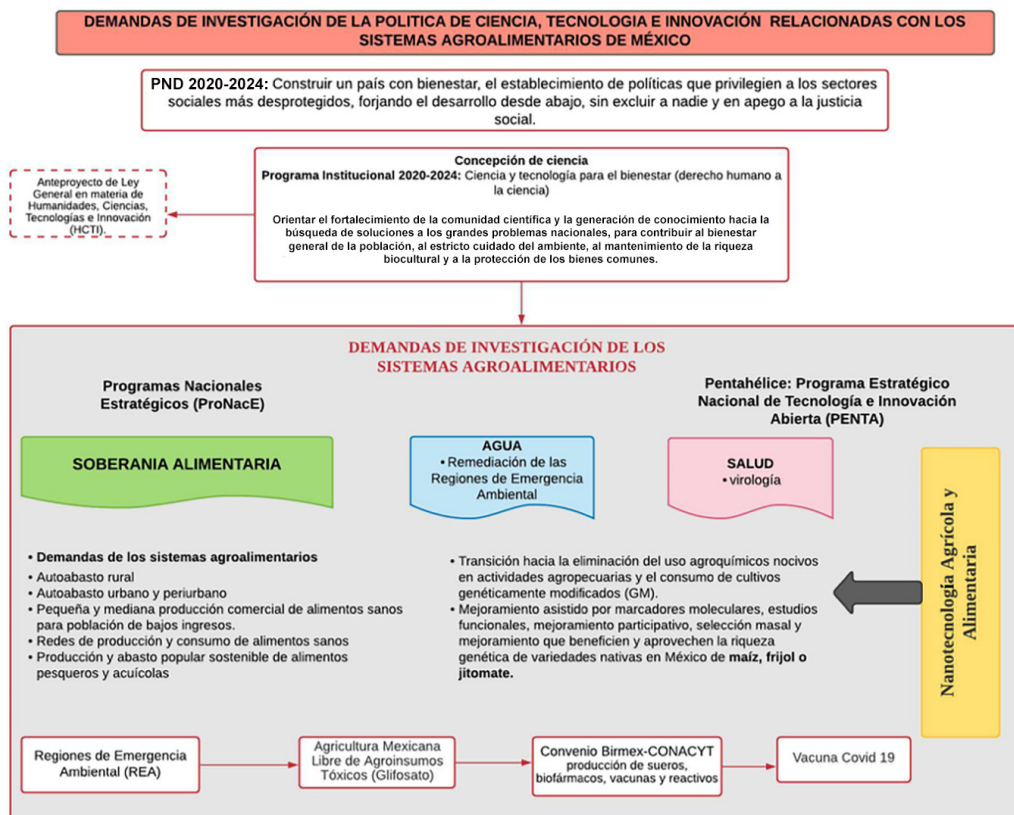
Otro importante reto de la agronanotecnología es la articulación de su multidisciplinariedad con los conocimientos tradicionales del campo, es decir, su aplicación y aceptación por los campesinos. Anteriormente, se han dado algunos acercamientos con los productores del campo, quienes esperan a corto plazo, la solución de problemas o incremento en la cantidad o calidad

⁷ Tales demandas fueron identificadas a partir de la revisión de los instrumentos de política publicados por el Consejo, de las convocatorias que se han publicado desde el inicio de la administración hasta la fecha y de los documentos normativos, principalmente convocatoria publicada por el Conacyt para apoyar proyectos de investigación e incidencia para la soberanía alimentaria.

de sus productos. Desafortunadamente, muchos de estos intentos no han arrojado rápidas soluciones, por lo que el descontento y desconfianza entre el sector académico y productivo se han extendido de manera considerable.

Por otra parte, las universidades y centros públicos de investigación tendrían también que hacer un esfuerzo y actualizar sus programas de investigación para que impacten de manera directa en la formación de recursos humanos especializados en agronanotecnología. Paralelamente, se requiere que los programas de posgrado en áreas científicas y tecnológicas actualicen sus programas de estudio con materias que traten las implicaciones éticas, sociales y ambientales de las tecnologías. Este hecho aportará conocimiento desde áreas como la física, química, biología, ciencia de materiales, métodos de simulación, toxicología, biotecnología y ciencias sociales, entre muchas otras áreas. Sus beneficios pueden ser mayores y se han visto por ejemplo en

FIGURA 3. Demandas de investigación de la política de ciencia, tecnología e innovación relacionada con los sistemas agroalimentarios y la nanotecnología agrícola y alimentaria.



Fuente: Elaboración propia con base en los siguientes documentos: Programa Institucional del Conacyt 2020-2024; convocatorias emitidas por el Conacyt a partir de 2019.

el desarrollo de otras líneas de investigación como han sido la electrónica y recientemente la biomedicina.

Finalmente, una dimensión que ha estado ausente en la política de CTI es la evaluación de la seguridad de los nanomateriales y su regulación. La Unión Europea y Estados Unidos, por mencionar algunos, tienen políticas de ciencia e innovación que explícitamente consideran el análisis de riesgos a la salud humana y al ambiente de los nanomateriales, así como el estudio de la percepción social de las aplicaciones.⁸ El financiamiento que se dedica a este tema suele ser menor que el que se dedica al impulso de la tecnología, pero es un tipo de investigación que se ha integrado debido a experiencias previas de rechazo del público a nuevas tecnologías. Por el contrario, en México el tema ha permanecido rezagado. En este sentido, es necesario que la actual política de CTI incorpore la evaluación y la regulación de los nanomateriales en el país. En esta dirección, para poder presentar una regulación en el tema, hay que, primeramente, evaluar sus riesgos. Estos involucran diferentes aristas: 1) el personal que desarrolla la nanotecnología y está expuesto; 2) los consumidores, y, 3) los ecosistemas y medio ambiente. Se ha demostrado que la naturaleza química de los nanomateriales, su forma, tamaño, y química superficial, son factores clave que determinan la interacción con las células y sistemas biológicos (Tian *et al.*, 2020). Estos factores han sido clave en el éxito y desarrollo de la nanotecnología en otras áreas, por ejemplo, el área biomédica, donde se han utilizado nanomateriales como vehículos de transporte para nutrientes, biomoléculas e incluso fármacos, como fue demostrado en la reciente vacuna contra el COVID-19 producida por la compañía Pfizer (Polack *et al.*, 2020). Para el área de la agronanotecnología, también es importante reconocer algunos reportes que alertan sobre la citotoxicidad de los nanomateriales, debido a que estos son capaces de traspasar las barreras biológicas y tener amplia movilidad dentro del cuerpo humano, interactuar con diferentes células, alterar su función biológica e inducir citotoxicidad. Incluso se ha demostrado que algunas nanopartículas presentan citotoxicidad en animales, que probablemente también puedan llegar a ser tóxicos para los humanos y limitar su uso en la agroindustria (Sun *et al.*, 2019).

La política actual de CTI podría comenzar con fortalecer una iniciativa académica ya existente, el Sistema Nacional de Evaluación Nanotoxicológica (Sinanotox), propuesta por toxicólogos y nanotecnólogos en el marco de la extinta Red de Nanociencia y Nanotecnología (RNyN) del Conacyt. El Sinanotox busca conformar una plataforma de referencia nacional para la evaluación de la inocuidad en la salud y ambiente de los NMs, así como el establecimiento de protocolos y pruebas de toxicidad (Vázquez, 2017, citado en Saldivar-Tanaka, 2019).

⁸ La National Nanotechnology Initiative establece como meta número cuatro involucrar al público y ampliar la fuerza de trabajo en nanotecnología, y, como meta cinco, asegurar el desarrollo responsable de las nanotecnologías con su respectivo presupuesto (<https://www.nano.gov/about-nni/what/vision-goals>).

Bajo este mismo contexto, una comunicación ética y adecuada es vital para la aceptación de la nanotecnología en el sector agrícola y alimentario. Su beneficio puede ser mayor que los riesgos. Los reportes y divulgación deben ser adecuados e incluir los aspectos positivos y negativos de su uso, además de presentar evidencia científica de su bioseguridad en la agroindustria con rigurosas evaluaciones de citotoxicidad, biodistribución, degradación, acumulación e impacto ambiental. Esto nos permitiría, finalmente, evaluar su uso y potenciales riesgos para implementar la regulación y futuro impacto.

Conclusiones generales

En la presente investigación abordamos un problema que es común en los sistemas de investigación de países emergentes: la escasa reconciliación entre la producción de conocimiento científico y su uso social. Para ello, acudimos a la conceptualización de oferta y demanda de conocimiento (Sarewitz y Pielke, 2007) como forma de analizar las brechas entre las prioridades de investigación (oferta de conocimiento) y las necesidades sociales (demanda de conocimiento) en un tema o campo de investigación específico. El abordaje utilizó los proyectos de investigación seleccionados por fondos competidos y generamos un mapeo de la oferta de conocimientos asociados con la NT agrícola y alimentaria, de entre los cuales destacan tres temas para el sector agrícola: el desarrollo de nanomateriales para el control de plagas y microorganismos patógenos; la innovación en nanofertilizantes, y, la agricultura sustentable. Para el sector de alimentos la visión de los temas va en dirección del desarrollo de compuestos con efecto antimicrobiano y sistemas catalíticos.

Con el análisis comparativo que hicimos de las concepciones y narrativas dominantes de la política de CTI de los últimos gobiernos, operacionalizamos la demanda de conocimientos del sector agroalimentario, en este caso, la establecida por el Estado a través del Conacyt, como institución rectora de la CyT en México. En este sentido, las demandas de investigación para el sistema agroalimentario ponen al centro los siguientes ejes problemáticos: la seguridad alimentaria (acceso adecuado a alimentos inocuos, saludables y nutritivos); la soberanía alimentaria (derecho de los pueblos a cultivar y comer alimentos coincidentes con su cultura); promover el uso de semillas nativas y aquellas libres de transgénicos; la transición agroecológica de la producción de alimentos, en donde se inserta la necesidad de innovaciones que sustituyan agroquímicos altamente contaminantes. Tales demandas son consistentes con los planteamientos que han venido haciendo los estudiosos del sector rural en México desde hace al menos una década;⁹ así como con la agenda de organismos internacionales especializados en ali-

⁹ Véanse, por ejemplo, las declaratorias de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales A. C.

mentación. Un ejemplo, son los temas tratados en la Pre-cumbre sobre los Sistemas Alimentarios de la Organización de las Naciones Unidas llevada a cabo el pasado mes de julio (<https://www.un.org/es/food-systems-summit>). En esta reunión se señala la urgencia global de garantizar un modelo agroalimentario que garantice el derecho a la alimentación de todas las personas, el equilibrio con los ecosistemas y la interlocución entre la ciencia y los saberes agrícolas de los pueblos originarios.

En definitiva, los cambios en el marco institucional y en la concepción de ciencia propuestos en la política de CTI en México establecen como demandas de investigación nuevos tópicos y nuevas formas de aproximación metodológica y epistemológica a los problemas sociales y cognitivos. No solo las demandas de investigación son distintas, sino también las formas de hacer ciencia y el tipo de interlocutores con quienes se puede generar conocimiento. Por ello, es importante problematizar la situación actual, pues, como señalan Casas, Corona y Rivera (2014), las posibilidades de éxito de una política de CTI orientada a la inclusión social van a depender de la visión que tengan los miembros de la comunidad científica con respecto a esta idea, y al papel que tengan otras comunidades epistémicas en la demarcación de las prioridades de investigación.

La coyuntura actual remite a reflexionar interdisciplinariamente: ¿qué podemos hacer para que la nanotecnología agrícola y alimentaria pueda contribuir a una agricultura justa con los productores rurales y respetuosa con el ambiente? Sin duda alguna, más de una respuesta a esta pregunta hará converger la multidisciplinariedad de la ciencia básica, la ciencia aplicada y el compromiso de los actores de las políticas públicas y quehacer científico. Podríamos empezar sosteniendo que la comunicación y divulgación de la información en agronotecnología debe hacerse de manera ética y adecuada para dejar que la sociedad decida sobre la aceptación de esta rama de las ciencias. Los materiales utilizados en el sector agrícola y alimentario deben ser acompañados por estudios toxicológicos y de impacto ambiental, aspecto ausente en el mapeo de la agenda de investigación que realizamos. Sin embargo, los principales retos están en promover una estrecha vinculación y colaboración entre el sector productivo, el sector académico y el sector social.

Referencias

- Braun, D. y Guston, D. H. (2003). Principal-agent theory and research policy: an introduction. *Science and Public Policy*, 30(5): 302-308. <https://doi.org/10.3152/147154303781780290>
- Casas, R. y Dettmer, J. A. (2003). Hacia la definición de un paradigma. En María Josefa Santos Corral (ed.), *Perspectivas y desafíos de la educación, la ciencia y la tecnología*. Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad Nacional Autónoma de México, 197-270.
- Casas, R., Corona, J. M. y Rivera, R. (2014). Políticas de ciencia, tecnología e innova-

- ción en América Latina: entre la competitividad y la inclusión social. En Pablo Kreimer, Léa Velho, Hebe Vessuri y Antonio Arellano (coords.), *Perspectivas latinoamericanas en el estudio social de la ciencia, la tecnología y el conocimiento*. Ciudad de México: Red CYTED/Foro Consultivo Científico y Tecnológico/Siglo XXI Editores.
- Cocos, M. y B., Lepori. (2020). What we know about research policy mix. *Science and Public Policy*, 47(2): 235-245. <https://doi.org/10.1093/scipol/scz061>
- Conacyt. (2014). *Programa especial de ciencia, tecnología e innovación*. Ciudad de México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. <https://www.siiicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-peciti/2014-programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion>
- Conacyt. (2020). *Programa Institucional Conacyt 2020-2024*. Ciudad de México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Conacyt. (2021). Anexo 3. Lineamientos de la Convocatoria 2021 Propuestas para el Desarrollo de Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia para la Soberanía Alimentaria. <https://www.conacyt.gob.mx/PDF/Convocatorias/Programas-Nacionales-Estrategicos/Soberania-alimentaria-propuesta/ANEXO%203.%20LINEAMIENTOS%20DE%20LA%20CONVOCATORIA.pdf>
- Elzinga, A. y Jamison, A. (1996). El cambio de las agendas políticas en ciencia y tecnología. *Zona Abierta*, 75-76: 1-22. http://docs.politicasciti.net/documents/Teoricos/ELZINGA_JAMISON.pdf
- European Environmental Agency (EEA). (2013). *Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation*. Copenhagen, Dinamarca: European Environment Agency (EEA Report No. 1/2013). <https://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2/late-lessons-2-full-report/late-lessons-from-early-warnings/view>
- Fernández-Carro, R. (2009). La teoría de principal-agente en los estudios sobre ciencia y tecnología. *Arbor*, 185(738): 809-824. <https://doi.org/103989/arbor.2009.738n1054>
- Herrera, A. (1995). Los determinantes sociales de la política científica en América Latina. Política científica explícita y política científica implícita. *Revista Redes*, 5: 115.
- Grobe, A., Ortwin, R. y Jäger, A. (2008). *Risk governance of nanotechnology applications in food and cosmetics*. Ginebra, Suiza: International Risk Management Council. [https://nanotech.law.asu.edu/Documents/2009/07/Michael%20Vincent%20IRGC%20\(2008\)%20Food%20and%20Cosmetics_162_4517.pdf](https://nanotech.law.asu.edu/Documents/2009/07/Michael%20Vincent%20IRGC%20(2008)%20Food%20and%20Cosmetics_162_4517.pdf)
- Hermans, M. A., Fox y Van Asselt, M. (2012). Risk governance. En Sabine Roeser, Rafaela Hillerbrand, Per Sandin y Martin Peterson (eds.), *Handbook of risk theory. Epistemology, decision theory, ethics, and social implications of risk*. Berlín, Alemania: Springer, 1093-1118.
- Kah, M., Kookana, R. S., Gogos, A. y Bucheli, T. D. (2018). A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. *Nature Nanotechnology*, 13(8): 677-684. <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0131-1>
- Kreimer, P. y Zabala, J. P. (2006). ¿Qué conocimiento y para quién? Problemas sociales, producción y uso social de conocimientos científicos sobre la enfermedad de

- Chagas en Argentina. *Redes*, 12(23): 49-78. <https://ridaa.unq.edu.ar/bitstream/handle/20.500.11807/612/02-R2006v12n23.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lacey, J. (2017). Bioavailability of nanomaterials and interaction with cells. En R. Busquets (ed.), *Emerging nanotechnologies in food science*. Oxford, United Kingdom: Elsevier, 81-96.
- Lemos, M. C., Kirchhoff, Ch. J. y Ramprasad, V. (2012). Narrowing the climate information usability gap. *Nature Climate Change*, 2(11): 789-794. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE1614>
- Linares, Salgado, J. E. (2007). Controversias tecnocientíficas y valoración global del riesgo. *Anuario de Filosofía*, 1: 61-69. <http://www.journals.unam.mx/index.php/afil/article/view/31432/29066>
- Pérez-Moreno, A., Fernández-Luqueño, F., Pérez-Hernández, H., Vázquez-Núñez, E., Vera-Reyes, I., Amir, A. (2021). Nanoscience and nanotechnology regarding food packaging and nanomaterials to extending the postharvest life and the shelf life of foods. En *Food losses, sustainable postharvest and food technologies*. Elsevier, 313-384.
- Polack, F. P., Thomas, S. J., Kitchin, N., Absalon, J., Gurtman, A., Lockhart, S., ... y Gruber, W. C. (2020). Safety and efficacy of the BNT162b2 mRNA Covid-19 vaccine. *The New England Journal of Medicine*, 383: 2603-2615. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2034577>
- Ranjan, S., Dasgupta, N., Chakraborty, A. R., Samuel, S. M., Ramalingam, C., Shanker, R., y Kumar, A. (2014). Nanoscience and nanotechnologies in food industries: opportunities and research trends. *Journal of Nanoparticle Research*, 16(6): 2464-2487. <https://doi.org/10.1007/s11051-014-2464-5>
- Renn, O. y Grobe, A. (2010). Risk governance in the field of nanotechnologies: core challenges of an integrative approach. En Graeme A. Hodge, Diana M. Bowman y A. D. Maynard (eds.), *International handbook on regulating nanotechnologies*. Inglaterra, Reino Unido: Edward Elgar Publishing, 484-507.
- Ruivo, B. (1994). "Phases" or "paradigms" of science policy? *Science and Public Policy*, 21(3): 157-164. <https://doi.org/10.1093/spp/21.3.157>
- Saldívar-Tanaka, L. (2019). Regulando la nanotecnología. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 12(22): 1-21. <https://doi.org/10.22201/ciich.24485691e.2019.22.63140>
- Sanz-Menéndez, L. (1997). *Estado, ciencia y tecnología en España, 1939-1997*. Madrid, España: Alianza Editorial.
- Sarewitz, D. y Pielke, R. A. (2007). The neglected heart of science policy: reconciling supply of and demand for science. *Environmental Science & Policy*, 10(1): 5-16. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2006.10.001>
- Sun, H., Jiang C., Wu L, Bai X. y Zhai S., (2019). Cytotoxicity-related bioeffects induced by nanoparticles: The role of surface chemistry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 414(7). <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00414>
- StatNano. (2020). Indicator: Nanotechnology publications (article). Description: Number of nanotechnology-related articles indexed in Web of Science (WoS). <https://statnano.com/report/s29#ixzz6pFU2bsFf>

Tian, T., Chong, Y. y Ge, C. (2020). Understanding the nano–bio interactions and the corresponding biological responses. *Frontiers in chemistry*, 8: 446. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00446>