

Agenda de investigación pública y privada sobre nanotecnología en agricultura y alimentación en México

Mónica Anzaldo Montoya

Existen diversos indicadores para medir y evaluar los resultados de la actividad científica; entre los principales encontramos: la producción y la productividad científica, la especialización por disciplinas, el impacto y visibilidad basado en citas, las dinámicas y patrones de colaboración y las citas en patentes (Sancho-Lozano, 2002). El estudio de la producción sigue siendo el más utilizado ya que, por el momento, los artículos científicos son la forma más aceptada por la comunidad científica para comunicar sus ideas. Además, el análisis comprensivo de estas unidades constituye una manera de acercamiento al proceso de producción del conocimiento, a las dinámicas de las comunidades y a las tendencias en las agendas de investigación (Callon, Courtial y Penan, 1995; Wallace y Ráfols, 2018). Este apartado expone brevemente la producción científica nacional asociada a las nanotecnologías aplicadas a la agricultura y la alimentación (A&A), misma que se generó realizando un estudio bibliométrico cuyos rasgos generales se describen a continuación.¹

El estudio bibliométrico identificó 298 trabajos en el periodo de 2004 a 2020, utilizando como fuente de información la base de datos Web of Science (WoS). El 75 % de los trabajos está tipificado como artículo, 17 % son revisiones y el restante 7 % son capítulos de libro y actas de congresos. El 97 % de los trabajos se publicaron en idioma inglés y el resto en español. Los trabajos fueron publicados en 204 títulos de distintas revistas. La comunicación de los resultados es altamente dispersa, es decir, no se logró identificar una revista o grupo de revistas en particular donde la comunidad esté comunicando sus resultados de investigación. En este sentido, las fuentes que más trabajos acumulan son: *International Journal of Biological Macromolecules*, y *Molecules* con 7 trabajos cada una. Este patrón se repite en el plano internacional. Al realizar el ejercicio en la base de datos de WoS encontramos que el 50 % de los títulos de las revistas registran solo una publicación.

La figura 1 presenta la evolución de la producción científica en el campo de las nanotecnologías aplicadas a la A&A en México. La evolución muestra una tendencia ascendente a lo largo del periodo con una tasa de crecimiento anual promedio de 51 %. Se observa un periodo inicial de escasa producción y el mayor incremento en el año 2018. La caída de la curva en el año 2020 se debe al efecto de la recuperación de los trabajos a agosto de ese año. A modo de referencia, en México la investigación en nanotecnologías en general producía, para finales de la primera década del siglo, más de 300 artículos al año (OICTI, 2008:33).

En cuanto al tipo de aplicación encontramos que, a lo largo de los quince años que abarca el periodo de estudio, poco más de la mitad de los trabajos se encuentran en la categoría de alimentos (56 %), seguido de la agricultura (28 %) y, en tercer lugar, las aplicaciones agrícolas en gestión del agua (13 %); el resto de los trabajos corresponde a las categorías de nanotoxicidad y *green synthesis* 1.7 y 1.3 % respectivamente (Figura 1).

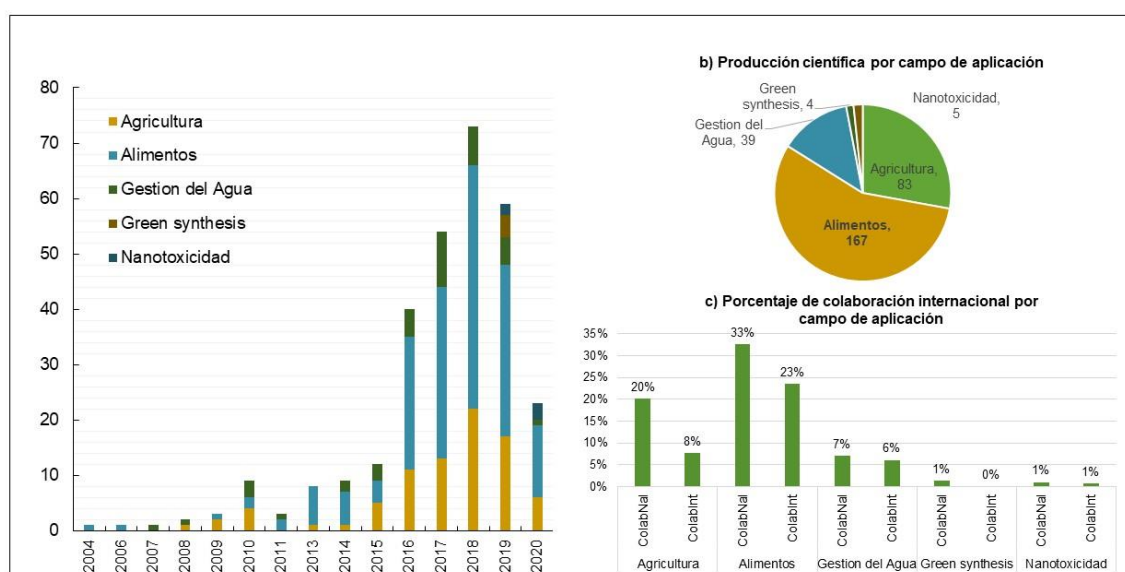
Al analizar la colaboración científica encontramos que todos los trabajos fueron publicados en coautoría y, de éstos, el 38 % tienen al menos una colaboración internacional. En este sentido, la categoría de alimentos es la que tiene mayor proporción de trabajos en coautoría internacional (62

¹ Los resultados del estudio bibliométrico han sido publicados en (Anzaldo Montoya et al., 2021; Hernandez-García & Anzaldo Montoya, 2021)-

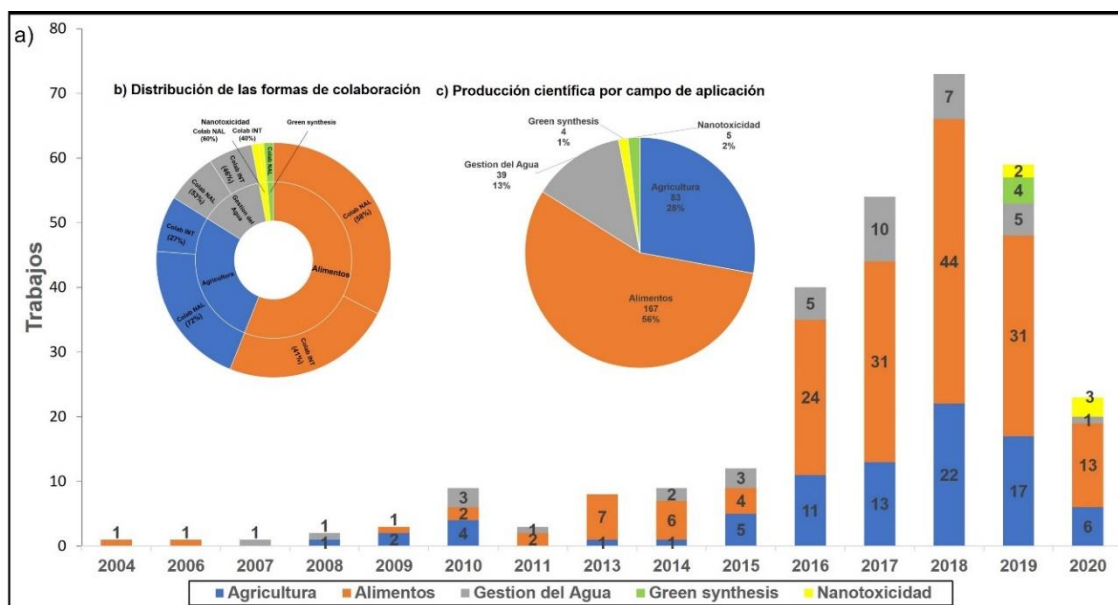
); en contraste con los trabajos asociados a la agricultura que alcanzan solo 20 % de coautorías con instituciones extranjeras.

El análisis de la colaboración internacional por país,² muestra que las relaciones más frecuentes son con Estados Unidos y España (28 y 22 trabajos respectivamente). Les siguen Brasil (10), India (9), China (8) y Francia (6). Es posible que la colaboración con China siga creciendo pues es el país con mayor producción científica en agronanotecnología, seguido de Corea del Sur (Parisi, Vigani y Cerezo, 2014:11) y la India que también ha tomado la agronanotecnología como un área estratégica.

Figura 1. Panorama de la producción científica en nanotecnología aplicada a la Agricultura y la Alimentación en México. **a)** Evolución de la producción; **b)** Producción científica por campo de aplicación; **c)** Porcentaje de colaboración internacional por campo de aplicación



² Para medir la intensidad de la colaboración internacional (frecuencia), se identifican los países asociados a cada dirección de adscripción, y se cuenta tantas veces como aparezca en un trabajo, es decir si dos investigadores de un mismo país aparecen en el mismo trabajo se cuenta dos veces al país.



Fuente: elaboración propia con datos de WoS

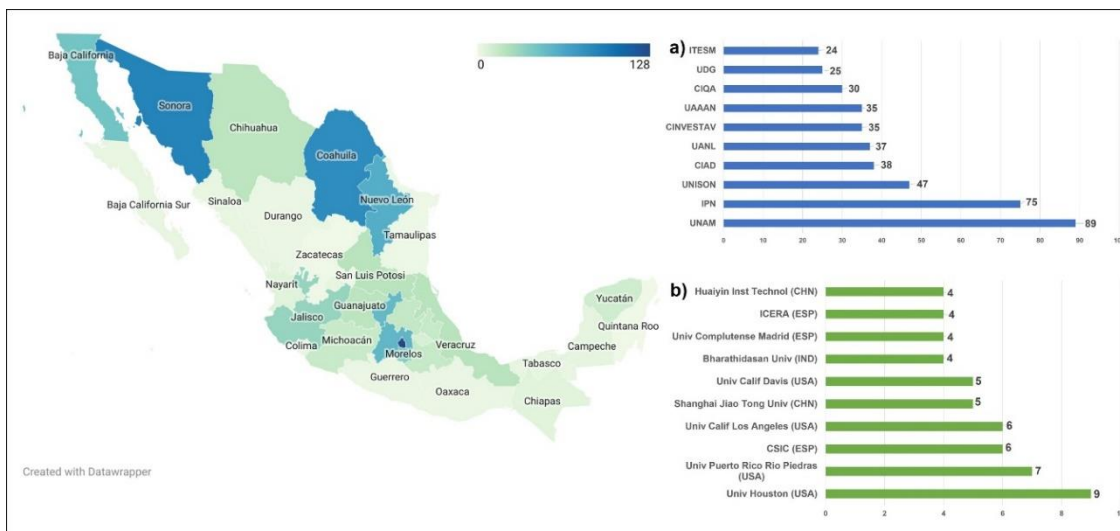
La **figura 2** presenta tres aspectos de la producción científica: la distribución de las publicaciones por entidad federativa, las principales instituciones de investigación y desarrollo nacionales y las instituciones extranjeras con mayor número de coautorías. Como puede apreciarse, la Ciudad de México, Sonora y Coahuila son las entidades con mayor número de artículos, juntas acumulan prácticamente la mitad de la producción científica en el tema. En general, el centro, el noreste y algunos estados del occidente del país muestran ciertas capacidades de investigación; por el contrario, la región sur, con excepción de Veracruz, presentan una producción escasa.

En cuanto a las instituciones, destacan la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN) las cuales concentran buena parte de las contribuciones. Le siguen la Universidad de Sonora (UNISON), el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV). Por el contrario, aparecen muy poco los centros de investigación dedicados al sector agroalimentario como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (con tres registros).

En el estudio se identificaron dos empresas co-autoras: Rubio Pharma y la consultora Logre International Food Science. La primera de ellas está vinculada en un trabajo con el CIAD, la UNISON y el CINVESTAV-Mérida, en el desarrollo de nanocápsulas para la entrega de sustancias; la segunda es una consultora que publicó un trabajo sobre la regulación de aditivos alimentarios. En definitiva, la diversidad de actores es muy baja, a pesar de que el grueso de los trabajos se dirige a la etapa de procesamiento de alimentos donde podrían interesarse el sector privado. De igual manera, no identificamos relación con organizaciones del sector rural.

En cuanto a las coautorías con instituciones extranjeras, las relaciones más frecuentes se dan con la Universidad de Houston, la Universidad de Puerto Rico Río Piedras y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España. En el tema de nanoalimentos encontramos que la colaboración internacional es diversa, lo cual es positivo si consideramos que México se ha caracterizado por una marcada dependencia de la colaboración científica con Estados Unidos.

Figura 2 Distribución geográfica de la producción científica en nanotecnología aplicada a la agricultura y la alimentación en México (2004-2020). a) Principales instituciones nacionales b) principales instituciones de colaboración internacional.



Fuente: elaboración propia con datos de WoS

Agronanotecnología industrial en México: entre la competitividad y la sustentabilidad

Dentro de los países de la OCDE se estima en 1 804 el número de compañías activas en nanotecnologías (OCDE, 2019). La base de datos StatNano identifica más de dos mil quinientas compañías a nivel mundial.³ En México, de acuerdo con la Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET) 2019, existen 144 empresas que realizan actividades relacionadas con el uso de la NT (INEGI-CONACYT, 2019).⁴ La información que proporciona la encuesta es muy limitada y no es posible acceder al nombre de la empresa y las aplicaciones que comercializa dado que son datos confidenciales.

Dado lo anterior, para identificar los esfuerzos de innovación en el país, tomamos como fuente de información el Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (PEI). El PEI fue un programa creado por el CONACYT en 2009 bajo la premisa de “fomentar la inversión privada en ciencia y tecnología, resolver los problemas de coordinación y vinculación entre la academia y el sector productivo y resolver problemas de las empresas” (CONACYT, s/f:11). Este programa consistió en la transferencia directa de recursos públicos al sector privado para el desarrollo de proyectos de innovación⁵ y estuvo vigente de 2009 a 2018, tiempo en el que se aprobaron 6 472 proyectos, por un monto de 55 265 millones de pesos. De estos recursos, 47 % fueron aporte fiscal y el resto de las empresas beneficiadas.⁶ Entre los resultados esperados por parte del programa se encuentran, más inversión privada para investigación y desarrollo,

³ <https://product.statnano.com/>

⁴ En 2016 hubo un total de 2,099 empresas que llevaron a cabo actividades de IDT intramuros en México (INEGI-CONACYT, 2019)

⁵ El subsidio que entregaba el CONACYT a las empresas no podía ser mayor al 50% del costo del proyecto.

⁶ Cálculo realizado con la base de datos de los proyectos aprobados por el PEI-CONACYT utilizada en esta investigación.

aumento en los registros de propiedad intelectual (patentes, derechos de autor), formación de recursos humanos y empleo.

El PEI fue uno de los instrumentos más importantes de la política de CTI del sexenio pasado. Este se encuadra en modelos de países del Norte Global como el de la Triple Hélice y los sistemas nacionales de innovación, así como, las recomendaciones de la OCDE al gobierno mexicano en su reporte de 2010 que, en términos generales, indicaban implementar estímulos fiscales e incentivos a las pequeñas y medianas empresas innovadoras (OCDE, 2010). Este tipo de instrumentos también permiten reconciliar la oferta y la demanda de conocimientos entre los actores del sector público, privado y social (Sarewitz y Pielke, 2007).

En el análisis del PEI identificamos 27 proyectos relacionados con NT aplicada a la A&A, de estos, 14 son en el sector alimentario y 13 del sector agrícola. El monto asignado al total de estos proyectos fue de 125.5 MDP distribuidos en 23 empresas, la mayoría de ellas (74 %) son micro y pequeñas empresas. En este trabajo nos centramos solo en los proyectos del sector agrícola.

La tabla 1 muestra los proyectos de innovación aprobados en el sector agro-nano categorizados según su aplicación. Los fertilizantes y plaguicidas, por ejemplo, son las aplicaciones más frecuentes, seguido de los recubrimientos para aplicaciones plásticas de invernaderos. Los cultivos de interés son jitomate, cebolla, papa y pimiento, así como para el mercado de semillas en general. El sector cárnico obtuvo un proyecto para el tratamiento de aguas residuales provenientes de su proceso de salado en pieles. Vale la pena mencionar el proyecto relacionado con la Agricultura 4.0 el cual propone el prototipo de una eco-plataforma para agricultura de precisión acompañada de nanotecnologías. Esto es un ejemplo discreto que sigue la tendencia del inicio del nuevo paradigma tecno-económico llamado Industria 4.0 (sobre el tema puede verse UNCTAD, 2021).

En suma, el análisis permite ilustrar una perspectiva de los tópicos de interés del sector privado y las tendencias en las aplicaciones que se desarrollan en el país. Además, se tiene la ventaja de que son proyectos que pasaron por un proceso de evaluación verificable.

Tabla 1. Proyectos AgroNano en el Programa de Estímulos a la Innovación del CONACYT, 2009-2018

Aplicación	Empresa	Entidad	Tamaño De Empresa	Descripción	Costo Total Del Proyecto (MDP)	% Aportado por la Empresa
Agricultura 4.0	Electro systems and technological solutions	Veracruz	MIPYME	Ecoplataforma para agricultura de precisión aplicando micro/nanotecnología e inteligencia artificial, así como materiales y procesos sustentables, dirigidos a incrementar la productividad y competitividad del sector agrícola	\$12,780,372	44%
Bioestimulantes	Corporativo de desarrollo sustentable	Michoacán	MIPYME	Desarrollo de nanopartículas promotoras del crecimiento vegetal de origen bacteriano a partir de trichoderma	\$12,379,277	40%
Empaques alimenticios	Rotoinnovacion	Chiapas	MIPYME	Desarrollo de contenedor agroindustrial nanoestructurado respuesta rápida al calor y utilizando energía renovable alternativa	\$17,868,000	43%
Fertilizantes o Plaguicidas	Algas y extractos del pacifico norte aep	Baja california	MIPYME	Desarrollo nanotecnológico de una nueva formulación de plaguicida orgánico basado en algas marinas y encapsulación de “Ion Cobre” en nanopartículas, para el control de patógenos de interés del sector agrícola	\$ 3,910,513	36%
	Bai bioconsultoria agricola integral	Sinaloa	MIPYME	Fertilizantes líquidos elaborados con nanoconcentrados en el Complejante Ácidos Hidroxipolcarboxilicos (HPC) para lograr una absorción total de estos elementos en los cultivos o en el suelo	\$15,527,350	44%
	Corporativo de desarrollo sustentable	Michoacán	MIPYME	Desarrollo de nanopartículas promotoras del crecimiento vegetal de origen bacteriano a partir de pseudomonadaceas especialmente para el mercado de los productores de semillas	\$10,984,456	28%
	Extrisa	Coahuila	MIPYME	Desarrollo de una película para acolchado agrícola con nanopartículas de aceites esenciales repelentes de insectos contra plagas en cultivos de importancia agroindustrial	\$8,302,940	44%
	Tecnologias agribest	Ciudad de México	MIPYME	Bioinsecticida-biofertilizante a base de nanoencapsulados de extractos vegetales contra plagas en cultivos agrícolas.	\$17,906,363	44%
	Agricultura nacional	México	GRANDE	Desarrollar un nuevo agroquímico con ingredientes nanoestructurados para la protección de cultivos de jitomate, cebolla y papa	\$2,784,987	65%
Industria cárnica	Integradora de ganaderos de engorda de la laguna	Durango	GRANDE	Formulación de nanopartículas que sustituya el proceso de salado de las pieles para su conservación y permita reducir la presencia de sal en las aguas residuales	\$6,140,881	58%

Aplicación	Empresa	Entidad	Tamaño De Empresa	Descripción	Costo Total Del Proyecto (MDP)	% Aportado por la Empresa
Recubrimientos	Agrointer	Sinaloa	MIPYME	Mallas micro y nanoestructuradas para el control de temperatura para invernadero y acolchado de suelos en ambientes protegidos	\$3,932,878	42%
	Grupo pintone	San Luis potosí	MIPYME	Recubrimiento a base de nanopartículas cuya función es regular el paso de la radiación UV y para su aplicación en las cubiertas plásticas de invernaderos de los cultivos de tomate y pimiento	\$5,927,160	56%
Uso de desechos Agroindustriales	Nanoingredientes bioactivos	Coahuila	MIPYME	Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la obtención de ácido kójico y su aplicación en el tratamiento dirigido hacia la hiperpigmentación en la piel empleando un bioconjugado de nanopartículas-aptámeros.	\$7,103,600	41%

Fuente: elaboración propia con información de las bases de datos del PEI-CONACYT (varios años)

Referencias

- Callon, M., Courtial, J. P. y Penan, H. (1995). *Cienciometría. La medición de la actividad científica: de la bibliometría a la vigilancia tecnológica* (No. 020.727 C163). Ediciones Trea.
- CONACYT. *s/f Resultados y casos de éxito es producto de un riguroso y amplio análisis de la trayectoria del Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación*. Ciudad de México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [INEGI-CONACYT] (2019). Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET) 2017. Comunicado de prensa núm. 633/19 28 de noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/OtrTemEcon/ESIDET2017.pdf>
- Hernández-García, Y. I., y Anzaldo, M. (2021). Flow of ideas in the study of communication channels and references in publications on nanotechnology applied to food and agriculture in Mexico. *Scientometrics*, 126(2), 995-1017.
- Observatorio Iberoamericano de Ciencia, Tecnología e Innovación [OICTI], (2008). La nanotecnología en Iberoamérica. Situación actual y tendencias Observatorio Iberoamericano de Ciencia, Tecnología e Innovación. Disponible en: <https://observatoriocts.oei.org.ar/2010/03/27/la-nanotecnologia-en-iberoamerica-situacion-actual-y-tendenciasq/>
- Parisi, C., Vigani, M. y Cerezo, E.R. (2014). Proceedings of a Workshop on 'Nanotechnology for the agricultural sector: From research to the field' (no. jrc89736). Joint Research Centre. Disponible en: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/jrc89736>.

Sarewitz, D., & Pielke Jr, 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>

Wallace, M. L. y Ráfols, I. (2018). Institutional shaping of research priorities: A case study on avian influenza. *Research Policy*, 47 (10), 1975-1989. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.07.005>