



DESARROLLO

La Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS) reúne en este libro trabajos de sus miembros en diferen-

tes países de América Latina. El tema central son las transferencias de tecnología entre la I + D y la producción de nanotecnologías. Se incluyen análisis a nivel de país, casos concretos, datos estadísticos de patentes y de innovación, inventario de empresas de nanotecnología.

Publicaciones previas de la RED LATINOAMERICANA DE NANOTECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

- *Nanotecnologías disruptivas* (Miguel Ángel Porrúa, 2006)
- *Las nanotecnologías en América Latina* (Miguel Ángel Porrúa, 2008)
- *Nanotecnologías en la alimentación y agricultura* (CSEAM, 2008)
- *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina* (Miguel Ángel Porrúa, 2012)
- *Social and Environmental Implications of Nanotechnology Development in Africa* (ReLANS/IPEN, 2012)
- *Las nanotecnología en Uruguay* (Espacio Interdisciplinario, Universidad de la República Uruguay, 2013)
- *Social and Environmental Implications of Nanotechnology Development in Asia-Pacific* (NTN/vReLANS/IPEN, 2013)
- *Nanotecnologías en América Latina: trabajo y regulación* (Miguel Ángel Porrúa, 2015)



Investigación y mercado de nanotecnologías

Investigación y mercado de nanotecnologías en América Latina

Guillermo Foladori
Noela Invernizzi
Edgar Záyago Lau
Coordinadores

MAPorrúa
librero-editor • México



UNIVERSIDAD DE ZACATECAS



SEDE ESTUDIOS CRÍTICOS DEL DESARROLLO



SEDE ESTUDIOS CRÍTICOS DEL DESARROLLO



UNIVERSIDAD DE ZACATECAS



MAPorrúa
librero-editor • México

Investigación y mercado de nanotecnologías en América Latina

Guillermo Foladori
Noela Invernizzi
Edgar Záyago Lau
Coordinadores



MÉXICO

2016

Esta investigación, arbitrada por pares académicos,
se privilegia con el aval de la institución coeditora.

620.5098

162

Investigación y mercado de nanotecnologías en América Latina / [coordinado por] Guillermo Foladori ; Noela Invernizzi ; Edgar Záyago Lau – 1ª ed. – [Zacatecas, Zac.] : Universidad de Zacatecas ; Ciudad de México : Miguel Ángel Porrúa, 2016
254 p. : il., mapas ; 17 × 23 cm. -- (Serie Estudios Críticos del Desarrollo)

ISBN 978-607-524-037-4

1. Nanotecnología -- América Latina. 2. Ciencia y tecnología -- Investigación -- América Latina. 3. Desarrollo económico -- Ciencia y estado -- América Latina. 4. Nanotecnología -- Aspectos económicos

Primera edición, junio del año 2016

© 2016

UNIVERSIDAD DE ZACATECAS

© 2016

Por características tipográficas y de diseño editorial
MIGUEL ÁNGEL PORRÚA, librero-editor

Derechos reservados conforme a la ley
ISBN 978-607-524-037-4

Queda prohibida la reproducción parcial o total, directa o indirecta del contenido de la presente obra, sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito de GEMAPORRÚA, en términos de lo así previsto por la *Ley Federal del Derecho de Autor* y, en su caso, por los tratados internacionales aplicables.

IMPRESO EN MÉXICO



PRINTED IN MEXICO

LIBRO IMPRESO SOBRE PAPEL DE FABRICACIÓN ECOLÓGICA CON BULK A 80 GRAMOS
www.maporrua.com.mx
Amargura 4, San Ángel, Álvaro Obregón, 01000, Ciudad de México

Presentación

Las nanotecnologías se han difundido en diversos sectores económicos en el mercado global, aunque con diferente desarrollo sectorial. Según registros no exhaustivos, las líneas de productos finales que incorporan nanotecnología sobrepasan las 1,800; pero estos registros no incluyen la gran cantidad de nanomateria prima actualmente producida y los insumos o productos intermediarios para los procesos industriales que no son tan visibles en el mercado.

América Latina también ha visto crecer la investigación y el desarrollo de las nanotecnologías y de los productos que entran al mercado. Los miembros de la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS) han venido presentando resultados de sus investigaciones en diversas publicaciones, y la Red ha publicado ya tres libros sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina. El primero, titulado *Las nanotecnologías en América Latina* (2008), realizaba un primer diagnóstico de los avances de las nanotecnologías en la región. El segundo, *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina* (2012), trató sobre las políticas públicas de nanotecnología en diversos países, los rasgos comunes y las ausencias. El tercero, *Nanotecnologías en América Latina: trabajo y regulación* (2015), se enfocó en temas de regulación que entraron en la discusión más recientemente y, también, el relegado problema de las nanotecnologías frente a la salud ocupacional. En este cuarto libro de la ReLANS, el tema central es la producción y comercialización de productos de la nanotecnología, así como procesos de transferencia de tecnología entre los centros de investigación y las empresas.

Cualquiera de estos temas presenta dificultad para acceder a información, ya que ningún país de la región tiene registros sistematizados de las

investigaciones en nanotecnología, ni de las empresas productoras o comercializadoras de productos, aunque en algunos casos se cuenta con bases de datos parciales, como en Argentina y Brasil, que permiten un primer acercamiento al tema. Investigaciones procedentes de algunos miembros de la ReLANS, identificaron para principios de esta segunda década del siglo, cerca de 100 empresas que comercializaban productos de las nanotecnologías en México, cerca de 160 en Brasil pero los mismos autores profundizaron en la recopilación de información y la lista ya llega a más de 160 en México, en torno a 300 en Brasil, y medio centenar en Argentina. Estos datos muestran que las nanotecnologías ya están presentes en el mercado latinoamericano, lo cual llama a la realización de un primer diagnóstico sobre el estado de la transferencia de tecnología, su producción y comercialización, propósito que cubre el presente texto.

El libro reúne trabajos de miembros de la ReLANS de varios países de la región. Los capítulos fueron agrupados en cuatro temáticas. En primer lugar se agruparon los textos que tratan sobre políticas públicas dirigidas a la innovación y transferencia de tecnología en términos generales.

En este grupo está el capítulo sobre Bolivia. Una de las puntas de lanza de la política de ciencia y tecnología boliviana es la industrialización del litio. Aunque aún en explotación reducida y limitada en su alcance, las enormes reservas del país han despertado el interés gubernamental por su industrialización. Entre muchos usos, el litio es materia prima clave para las baterías, y las nanotecnologías son decisivas para que baterías de litio puedan ser eficientes en la industria automovilística. La política boliviana de ciencia y tecnología tiene un horizonte de largo alcance, donde visualiza la explotación de litio a lo largo de toda su cadena de valor, hasta la producción de baterías. Roberto del Barco Gamarra, Ebeliz Fuentes, Denisse Vargas, Rocío Villca y Marcelo Zenteno explican el contexto del desarrollo de la ciencia y tecnología en Bolivia y la prioridad que el litio ocupa en los planes de desarrollo. Los autores muestran que ya hay investigación y desarrollo en nanotecnologías en los centros de investigación en ciencia y tecnología de materiales y recursos evaporíticos, dependientes de la Dirección de Electroquímica y Baterías, y que articula universidades públicas y centros de investigación con instituciones y empresas.

También se incluye en este grupo el capítulo sobre Costa Rica, donde José Roberto Vega-Baudrit y Santiago Nuñez-Corrales explican la orientación de la política nacional de ciencia y tecnología en el país, el surgimiento del Laboratorio Nacional de Nanotecnología y la inclinación de este último a la transferencia de tecnología hacia medianas y pequeñas industrias. Encuestas

realizadas entre 2014 y 2015 muestran la amplia disposición empresarial hacia la búsqueda de soluciones enmarcadas en las nuevas tecnologías.

También en este grupo, está el capítulo sobre Uruguay. Adriana Chiancone y Enrique Martínez Larrechea analizan el Centro Interdisciplinario de Nanotecnología, Química y Física de Materiales de la Universidad de la República. Se muestra la relación de este centro con las principales organizaciones de ciencia y tecnología del país, y cómo la falta de una política central de nanotecnología obliga a dicho centro a depender de circunstanciales proyectos de investigación y ajustados a las necesidades de las pocas fuentes de financiamiento público que existen.

Por último, en este grupo, incluimos el texto de Wilson Engelmann, Andréa Aldrovandi y Raquel von Hohendorff, quienes revisan la incorporación de nanoplasta como materia prima en varias mercancías del mercado mundial, aunque con presencia incipiente en el caso del mercado brasileño. La perspectiva de los autores es sobre la potencial regulación; ya abundan los artículos científicos que relacionan la exposición a estas materias primas nanoprocesadas con riesgos para la salud humana y/o el medio ambiente. La pregunta pendiente es si este tipo de nanomateriales, que se aplica inclusive en envases de alimentos, debe ser regulado y de qué forma.

En segundo lugar se agruparon los trabajos que discuten las políticas de transferencia tecnológica a la luz de estudios de caso. Aquí se incluye el tema analizado por Mónica Anzaldo, Pilar Montoya y Andrés Gómez sobre una empresa clasificada como PYME, establecida en la ciudad de San Luis Potosí en México, y dedicada a la generación y comercialización de desarrollos tecnológicos. Mediante acuerdos de colaboración con centros de investigación, la empresa ha logrado capacidad para desarrollarse en ámbitos en los cuales no cuenta con capacidades propias. El propósito del capítulo es mostrar la relación entre los instrumentos de la política pública de innovación mexicana y las reales posibilidades de utilización y, en particular, las dificultades a las cuales la actividad empresarial se ha enfrentado para darle continuidad a la investigación, como fueron la normatividad y el licenciamiento.

También en este grupo se ubica el caso colombiano analizado por Astrid Jaime, María Lucía Lizarazo, Constanza Pérez Martelo y Bernardo Herrera. El propósito es identificar la manera y medida en que una investigación científica debe articular una serie de diferentes actores sociales y combinar sus distintos intereses, para lo cual debe hacer uso de diferentes instrumentos de política tecnológica nacional y regional, tanto financiera como de redes, y de otro tipo de recursos, como la presencia en los medios que permita una determinada percepción social. El tema en cuestión trata de una tecnología

para remover contaminantes del agua y que arranca de un grupo de investigación de la Universidad Industrial de Santander, Colombia.

El último estudio de caso es el de los textiles funcionalizados con nanotecnología en Argentina. Tomás Javier Carrozza y Susana Silvia Brieva estudian el proceso de elaboración de un textil repelente al mosquito transmisor del dengue, como parte de una convocatoria del Fondo Argentino Sectorial de Nanotecnología. El capítulo muestra lo intrincado de las relaciones entre los actores, tanto personales como institucionales, que directa e indirectamente se ven involucrados en el proyecto, y los nuevos agentes que se van incorporando a medida que avanza el proceso. El análisis resalta la distancia entre las proposiciones “en papel” de la política de transferencia tecnológica y su evaluación, y la realidad práctica que exige diferentes o nuevas rutas de trabajo.

En tercer lugar se agruparon los estudios que abordan el estado de la difusión de la nanotecnología en el sector productivo, la comercialización de productos y la propiedad intelectual. En este grupo hay dos capítulos sobre México, que fueron resultado de un proyecto de investigación en colaboración entre la Unidad Académica en Estudios del Desarrollo de la Universidad Autónoma de Zacatecas y el Centro de Nanotecnología y Sociedad de la Universidad de California en Santa Bárbara. Richard Appelbaum, Guillermo Foladori, Edgar Záyago Lau, Eduardo Robles Belmont, Edgar Ramón Arteaga Figueroa, Liliana Villa Vázquez y Rachel Parker estudian la presencia de empresas y patentes de nanotecnología en México. Uno de los dos capítulos muestra los resultados de un inventario de empresas de nanotecnología, en el cual los productos que la incorporan son clasificados según el sector económico y su posición en la cadena de valor de las nanotecnologías. Este tipo de investigación permite detectar la ubicación de las empresas en la cadena de valor global y, por tanto, su dependencia relativa.

En otro capítulo, el equipo de investigación analiza las patentes en nanotecnología, y aplicando metodologías utilizadas internacionalmente, establece una correlación entre las patentes y su uso potencial, y también el lugar de la innovación patentada en la cadena de valor, permitiendo así, identificar dónde se ubica la investigación de nanotecnologías en México dentro de la estructura vertical de la cadena de valor.

En el último capítulo, Carolina Bagattolli y Noela Invernizzi analizan el grado de difusión de la nanotecnología y las formas de innovación realizadas por las empresas en Brasil. Las autoras indagan en qué medida nuevos instrumentos de financiamiento a la innovación creados durante la década

pasada tuvieron efectos en la dinámica de innovación de empresas que usan esta tecnología emergente. Utilizando datos de la Encuesta de Innovación Tecnológica, en su última edición de 2011, las autoras muestran que, a pesar del aumento significativo de las firmas que mantienen actividades en nanotecnología en los últimos años, predomina una tendencia a realizar actividades de innovación de menor riesgo.

LOS COORDINADORES

Nanotecnología y litio, su relevancia en la política de CTI de Bolivia

Roberto del Barco Gamarra*
Ebeliz Fuentes, Denisse Vargas
Rocío Villca, Marcelo Zenteno**

Introducción

En la actualidad, Bolivia afronta desafíos que requieren de un importante aporte de ciencia, tecnología e innovación (CTI) para enfrentarlos. Dentro de estos desafíos resaltan por lo menos dos estrechamente vinculados entre sí: evitar convertirse en un país marginal en el mundo, y superar la extrema pobreza en la que vive una parte mayoritaria de su población. Para ello, el mandato constitucional boliviano reconoce el rol relevante de la ciencia y la investigación como factor clave para el cambio de la matriz productiva y la industrialización de los recursos naturales.

A diferencia de sus pares de la región, la propuesta del Sistema Boliviano de Ciencia, Tecnología e Innovación (SBCTI), tiene la característica de no estar basada en el concepto de competitividad como eje, sino en el de “vivir bien”. Esto, que puede sonar romántico, refleja una postura política orientada a desarrollar las capacidades nacionales en función del interés colectivo. Esta postura implica una conexión explícita y directa entre el desarrollo de la ciencia y tecnología (CYT) y la satisfacción de las necesidades de la población con un enfoque de desarrollo participativo, equitativo y sustentable. Es distinta, por tanto, a la concepción más extendida, que pone el acento en la relación entre CYT y la mejora en la competitividad; lo cual supone que las necesidades sociales serán satisfechas indirectamente, mediadas por los me-

*Doctor en Estudios del Desarrollo por la Universidad Autónoma de Zacatecas, México. Coordinador del Instituto de Transferencia Tecnológica e Innovación (ITTI) de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Técnica de Oruro, Bolivia. Profesor-investigador y miembro activo de ReLANS. Correo electrónico: roberto.delbarco@gmail.com

**Estudiantes de pregrado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Técnica de Oruro. Miembros del grupo de investigación del ITTI.

canismos de mercado y/o las políticas públicas, los cuales también pudieron implicar fuerzas hacia la concentración de la riqueza y la inequidad. A partir del consenso actual de que los Estados juegan un rol clave en la promoción de la CTI, este capítulo busca analizar dos aspectos centrales: la manera como el Estado boliviano plantea interactuar de forma más eficiente con los actores clave del SBCTI que contribuirán de manera directa a alcanzar los objetivos del pilar de soberanía científica y tecnológica de la Agenda Patriótica boliviana del Bicentenario 2025 (APB-2025); y la política tecnológica dirigida a crear capacidades endógenas y que promuevan procesos de investigación e innovación tecnológica (en nanotecnología en particular) en el sector de industrialización del litio boliviano, mismo que se constituye en uno de los priorizados por el Estado.¹

El capítulo se divide en tres secciones. La primera analiza la ciencia y tecnología en Bolivia, esfuerzo enmarcado principalmente en describir su componente conceptual central, el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (PNCTI), y cómo, a partir de aquél, se estructura la política sectorial vinculada al sector minero no tradicional, en particular, en la industrialización de los recursos evaporíticos. En la segunda, se analiza al litio como prioridad dentro de esta política en CTI. La tercera sección se centra en el proyecto de industrialización del litio con la producción de baterías como fin último; esto requiere investigación y aplicación de nanotecnologías a partes del proceso.

Ciencia y tecnología en Bolivia

La nanotecnología ha pasado de ser una ciencia emergente, a una de las principales líneas de investigación en los países desarrollados. El crecimiento del número de investigaciones en esta nueva ciencia en los últimos años, se debe principalmente al incentivo económico y político brindado por los diferentes gobiernos de países como Estados Unidos, Japón, Reino Unido, Alemania y Francia. La motivación para invertir en nanotecnología reside en que ésta es considerada como camino de progreso para los países con mayor capacidad de innovación. El mundo ha incursionado en una era en la que quedar atrás en la carrera del conocimiento hará aún más notorias las brechas existentes entre los países más poderosos y los países en vías de desarrollo. En Sudamérica, Brasil ha destacado de los demás países gracias

¹Utilizamos nanotecnología en singular, aunque se trata de diversas técnicas de manipulación de la materia a escala nanométrica.

a las diferentes políticas e incentivos asociados con este campo tecnológico, pero ¿qué está pasando en países como Bolivia?

En los países andinos todas las políticas y planes de CTI señalan la necesidad de desarrollar la nanotecnología. En Bolivia, las actividades de investigación relacionadas con nanotecnología ya han dado sus primeros pasos, y se van desarrollando gracias al apoyo de centros de investigación, de empresas públicas y del Estado; sin embargo, es poca la difusión de los avances y resultados de las mismas, además de que si bien existen políticas de CTI, no hay ninguna que se enfoque en el desarrollo de la nanotecnología en particular.

En ese sentido, Bolivia busca desarrollar el *catching-up* tecnológico necesario para ingresar a esta nueva era que impactará social y económicamente al mundo entero. Sin embargo, el apoyo que recibe por parte de instancias gubernamentales —en cuanto a incentivos, financiamiento y políticas de apoyo— aún es insuficiente, aunque no inexistente.

Bolivia destaca por ser un país que se sostiene gracias a la exportación de materia prima sin valor agregado, principalmente hidrocarburos y minerales. Según un reporte de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en la gestión 2013, Bolivia ocupó el primer lugar de los países de la región en exportar materia prima (con un 96 por ciento sobre sus exportaciones totales), constituyéndose en el último país en cuanto a la venta de productos manufacturados (con un 4 por ciento sobre sus exportaciones totales) (Lazcano, 2014). El hecho de que los principales ingresos de exportaciones provengan de materia prima sin valor agregado da cuenta del escaso desarrollo de CyT, la falta de financiamiento e incentivo al sector productivo y políticas del Estado.

Otro indicador de las carencias es el índice de competitividad, que muestra la capacidad de un país de brindar prosperidad y mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos. En la gestión de 2014, Bolivia ocupó el lugar 105 a nivel mundial. En general, Latinoamérica ocupa puestos bajos; sin embargo, Bolivia se encuentra por debajo del promedio del continente, siendo los puntos más débiles para el país la innovación, la infraestructura y la preparación tecnológica (Schwab, 2014).

Algo que ha caracterizado históricamente a la base científica-tecnológica boliviana ha sido la alta dependencia tecnológica, las exportaciones concentradas en materias primas con muy poco, o casi inexistente, valor agregado y la insuficiencia o subutilización del recurso humano especializado. Todo ello como consecuencia de la falta o la ineficacia de una estra-

tegia de amplio alcance, y de una estructura económica de país “primario exportador”.

El cuadro 1 consolida las principales dificultades que enmarcan la CYT en Bolivia.

Cuadro 1
ANÁLISIS DEL TRIÁNGULO DE SÁBATO (BOLIVIA)

| <i>Sector productivo</i> | <i>Sector generador de conocimiento</i> | <i>Estado</i> |
|---|--|--|
| <i>Pequeñas empresas</i> Capacidades tecnológicas escasas u obsoletas. Poca o nula demanda de servicios tecnológicos. Falta de herramientas de gestión y de estándares de calidad. | Pocos centros de investigación de alto nivel. No se satisfacen los estándares internacionales. Recursos humanos insuficientes (pocos profesionales con maestrías y doctorados, alta emigración intelectual). | Inexistencia de incentivos para el acercamiento del sector productivo con el generador de conocimiento. Políticas insuficientes en cuanto a CTI. Baja inversión en CTI (menos de un 0.1% del PIB). |
| <i>Medianas empresas</i> Segmento que cuenta con algún nivel de capacidad tecnológica, pero limitada. | Escasas publicaciones científicas en revistas internacionales. | Inexistentes políticas en cuanto a nanotecnología. |
| <i>Grandes empresas</i> Buen nivel, pero usan casi siempre tecnología importada. Poca vinculación con instituciones de CYT locales. | | |

Fuente: Elaboración propia con base en Sánchez (2015).

En el pasado reciente, durante la aplicación del modelo neoliberal, la situación de la CYT boliviana se agudizó, a partir del supuesto de la inexistencia de capacidad y habilidad para innovar en el país, situación que obligaba aceptar un rol de “usuario pasivo” de la tecnología desarrollada por agentes externos. Todo ello, sin un proceso de maduración y adecuación con base en las características técnicas, sociales y culturales del medio boliviano. Este hecho no solamente tiene un efecto en la (casi) inexistente innovación endógena, sino que a partir de este distorsionado esquema de competitividad, se justificaron la reducción de salarios, la flexibilidad laboral, la reducción de aranceles, e incluso, el incumplimiento de normas ambientales.

Es bajo este escenario que la Constitución Política del Estado (CPE) boliviano planteó el cambio del patrón primario exportador, a una matriz de producción con valor agregado y generadora de excedentes. Estos objetivos

de transformación de la matriz productiva se expresan a partir de las políticas de industrialización, diversificación y reconversión productiva; mismas que requieren procesos de Innovación y Desarrollo (I+D) tecnológico que soporten las nuevas capacidades para el desarrollo y transformación en sectores estratégicos que cuentan con plazos señalados por la APB-2025.

El nuevo PNCTI, en su tercer esfuerzo por promover la CTI boliviana a través de un proceso de planificación, ha identificado dos problemáticas centrales. Primera, una escasa vinculación de las actividades académicas de las universidades con el quehacer científico de las mismas, y su respuesta a las demandas sociales y productivas nacionales. Segunda, los sectores sociales se encuentran alejados de los ámbitos del conocimiento y desarrollo tecnológico, y con acceso limitado a la tecnología. Como resultado de aquello, el PNCTI ha establecido como líneas de acción la búsqueda del fortalecimiento de programas de postgrado acorde con las políticas gubernamentales vigentes y demandas de la sociedad, y la democratización del conocimiento científico mediante programas de divulgación. El PNCTI tiene una base conceptual específica para las características particulares bolivianas, partiendo de los saberes de los pueblos (la esencia), un marco normativo e institucional (la forma), y un enfoque de prioridades orientado a efectos e impactos.

Los fundamentos del PNCTI emanan de tres fuentes: la Constitución vigente (CPI), la *Ley de Educación* número 70 Avelino Siñani-Elizardo Pérez y la APB-2025. De estas se derivan tres conceptos fundamentales del plan: 1) la *ciencia y tecnología inclusiva*, insertas en el artículo 103 de la CPE vigente que establece la voluntad política para el desarrollo y coordinación de los procesos de investigación e innovación con soberanía;² 2) la *formación de talentos para la cyT*, que es parte de los objetivos de la *Ley de Educación* (Art. 5) en la búsqueda de la integralidad del conocimiento e información, y la promoción de la investigación científica, técnica, tecnológica y pedagógica, y 3) la *soberanía científica y tecnológica con identidad propia*, concepto basado en los objetivos de la APB-2025 que plantea 13 pilares para la construcción de una nueva sociedad más incluyente, participativa y democrática. Este concepto expresa que el conocimiento y la tecnología son fundamentales para impulsar la economía plural, la erradicación de la extrema pobreza y la universalización de los servicios básicos.

²El artículo establece que el Estado garantizará el desarrollo de la ciencia y la investigación científica, técnica y tecnológica en beneficio del interés general, comprometiendo el destino de recursos y la creación del sistema estatal de cyT.

Tal como afirma Roberto Aguilar Gómez —ministro de Educación del Estado Plurinacional de Bolivia—, en la memoria de las redes nacionales de investigación científica y tecnológica (MEEP, 2011),

El Estado boliviano, fiel a su nueva visión en materia educativa y en los vínculos de esta con la CTI, viene trabajando (desde el año 2006) en la formulación e implementación de políticas apoyadas por mecanismos que articulen y faciliten el encuentro de los generadores de CTI con los sectores demandantes de la misma. Todo ello, con el objetivo de romper el arreglo de dependencia tecnológica y del conocimiento, que por siglos ha sustentado al modelo colonial. A tal estructura con características históricas y culturales peculiares, se la reconoce como el Sistema Boliviano de Innovación (SBI) (MEEP, 2011: 1).

El SBI fue el punto de partida para la creación del SBCTI definido como un conjunto de actores interrelacionados y complementarios, que utilizan la CTI de forma coordinada y constructiva en la generación de soluciones integrales a problemas productivos, sociales y ambientales, bajo un enfoque de desarrollo participativo, equitativo y sustentable (MEEP, 2013).

A partir de las reflexiones de Mauricio Céspedes Quiroga, responsable de la elaboración del PNCTI (Acevedo Peña *et al.*, 2015) se puede indicar que uno de los instrumentos operativos implementados desde el año 2010, y que ha dado lugar a un mayor dinamismo al SBCTI, ha sido la conformación de Redes Nacionales de Investigación Científica y Tecnológica (RNICYT). Las mismas surgieron ante la necesidad de un mayor fortalecimiento y articulación entre los centros de investigación, universidades y otras instituciones dedicadas a la investigación; cuyo actuar estaba desarrollándose de manera aislada y desconectada de las necesidades de la nación boliviana, alcanzando un reducido impacto en el desarrollo de los sectores social, productivo y ambiental.

Céspedes califica a las RNICYT como la base operativa del SBCTI y apuesta a la consolidación de las mismas para poder evolucionar hacia plataformas sectoriales que ya cuentan con cierto grado de experiencia, y que han sido priorizadas tanto por los actores sociales como por el Estado. Estas once redes nacionales aglutinan a más de doscientos investigadores nacionales y concentran su interés en áreas tan diversas que van desde los alimentos y la energía nuclear hasta los saberes y conocimientos de los pueblos indígenas y afrobolivianos (MEEP, 2011: 8).

En relación a las interacciones del SBCTI, se dan en un modelo funcional integrado por los sectores demandantes de CTI, tanto relacionados a la investigación y al desarrollo, como al gobierno, cada uno con roles que permiten el flujo de información y recursos. Las relaciones parten de las necesidades de un sector demandante de CTI, que busca respuesta en el conocimiento producido en centros de investigación públicos y privados. El sector gubernamental actúa como agente articulador y facilitador de la CTI. Los instrumentos articuladores, financieros y normativos del SBCTI permiten convertir los resultados obtenidos por el sector generador de conocimiento en soluciones técnicas, económicamente viables para los sectores demandantes de CTI (MEEP, 2013).

Esta perspectiva sectorial —a partir del planteamiento de la CPE vigente, acerca del cambio del patrón primario exportador a una matriz de producción con valor agregado y generadora de excedentes— da cuenta del establecimiento de políticas de industrialización, diversificación y reconversión productiva, soberanía productiva alimentaria y diversificación de mercados; mismas que requieren procesos de I+D tecnológico que sustenten las nuevas capacidades para el desarrollo y transformación en sectores estratégicos priorizados por el Estado.

En el sector minero, la política nacional establece como prioridad el desarrollo y promoción estatal de la investigación relativa al manejo, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales, así como en políticas de administración, prospección, exploración, explotación, industrialización, comercialización, evaluación e información técnica geológica y científica de recursos no renovables para el desarrollo minero (MEEP, 2013: 80). En este contexto, las acciones identificadas dan cuenta de estrategias de formación de talento humano para cubrir la demanda de formación técnica, académica y científica, así como las líneas de investigación adecuadas a las demandas del desarrollo del sector apuntando a la conformación de complejos productivos descritos en términos de minería tradicional y no tradicional.

Los dos ejes temáticos para el sector se centran en dos aspectos claves: 1) investigación básica para la identificación del potencial geológico, minero y metalúrgico en Bolivia, y 2) investigación aplicada en geología, minería y metalurgia para la obtención de productos de alto valor agregado con interés industrial, identificando como uno de los programas claves del segundo lineamiento la explotación y transformación de recursos evaporíticos.

El litio: una prioridad en la política de CTI

El litio (Li) es un elemento moderadamente abundante y está presente en la corteza terrestre en 65 partes por millón (ppm). Si bien se encuentra presente en una amplia gama de minerales (aproximadamente 145 especies mineralógicas contienen litio) sólo algunas poseen valor económico.

De los anteriores minerales, los actualmente importantes desde el punto de vista económico, son el espodumeno y la petalita. Ambos son utilizados como fuente para producir concentrados y carbonato de litio (Li_2CO_3). El litio también se encuentra presente en diversas arcillas (siendo la hectorita la más importante) y en el agua de mar, en concentraciones que bordean las 0.17 ppm (Yaksic, 2008).

Empero, la mayor cantidad de litio en la naturaleza se encuentra en salmueras naturales y no en minerales pegmatíticos. Estos salares se han formado en cuencas cerradas de origen tectónico por un proceso de concentración por evaporación solar de las soluciones ricas en sales que fluyen a la cuenca. Desde la década de los sesenta del siglo xx, las salmueras se han convertido en la principal fuente de litio, debido al menor costo de producción de carbonato de litio, en comparación con aquel a partir de minerales. La calidad del depósito dependerá, en gran medida, de los niveles de concentración de los diversos elementos que la salmuera contenga. La concentración de litio en salmueras varía generalmente entre 200 y 2,000 ppm (0.02 a 0.2 por ciento). Las salmueras más importantes, en términos de calidad y volumen, se encuentran localizadas en el norte de Chile (Salar de Atacama), occidente de Bolivia (Salar de Uyuni), norte de Argentina (Salar del Hombre Muerto), en diversos lagos salinos de Estados Unidos, en el noreste de China (provincia de Qinghai y el Tíbet) y en Rusia (Cochilco, 2009: 32). El cuadro 2 resume los tipos de mineral de litio y su ubicación geográfica mundial.

Cuadro 2

MINERALES DE LITIO POR TIPO Y PAÍS DE RESERVA

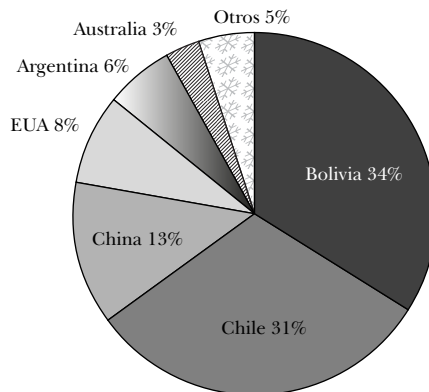
| <i>Tipo de pegmatita</i> | <i>Países con reservas</i> |
|--|---|
| <i>Espodumeno:</i> El más abundante de los minerales de pegmatitas ricas en litio, constituyendo alrededor de un 20% de los minerales contenidos en la pegmatita. | Estados Unidos (Carolina del Norte), Canadá, Australia, Zimbabue, Congo, Brasil, Rusia, China y Argentina |

| <i>Tipo de pegmatita</i> | <i>Países con reservas</i> |
|---|--|
| <i>Petalita:</i> Luego del espodumeno es el mineral que presenta una mayor importancia económica. Se usa como fuente para producir concentrados de litio, los que se comercializan por su alto contenido de óxido de litio (Li ₂ O) | Zimbabue, Namibia, Canadá, Brasil y Rusia. |
| <i>Lepidolita:</i> Este tipo de mineral, junto con la petalita se usan, principalmente y en forma directa, como mineral en la industria de vidrios y cerámicas. | Zimbabue, Brasil, Canadá Australia y Portugal. |
| <i>Ambigonita y Eucriptita:</i> | Canadá, Estados Unidos, Australia, Namibia y Brasil. |

Fuente: Elaboración propia con base en Cochilco (2009: 31).

Alrededor del 65 por ciento de las reservas de litio se concentran en Chile y Bolivia, provenientes de salmuera, tal como lo muestra la gráfica 1 —en particular el caso de Bolivia considerando sólo al Salar de Uyuni y no así a los demás salares. Como se ha señalado anteriormente, el litio es también abundante y económicamente viable en rocas minerales, de hecho, Australia posee sólo este tipo de depósito, siendo el mismo país, en la actualidad, el segundo productor más grande de litio después de Chile. Grandes recursos de se encuentran en el agua de mar, pero en bajas concentraciones (Martín, 2015).

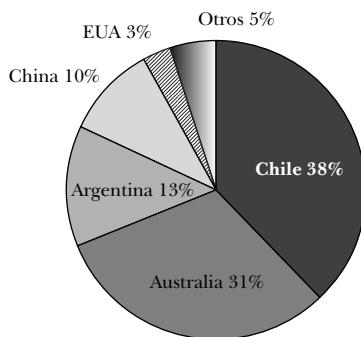
Gráfica 1
RESERVA DE LITIO POR PAÍS



Fuente: SignumBOX (2012).

Las enormes reservas de litio en Bolivia no están en producción. Los principales productores de litio se encuentran en Chile, Argentina y Australia, como se muestra en la gráfica 2. Al 2011 se tenía una capacidad de producción total (estimada) del orden de 194,000 TM de LCE, considerando además que los actuales productores se encuentran en pleno proceso de expansión.

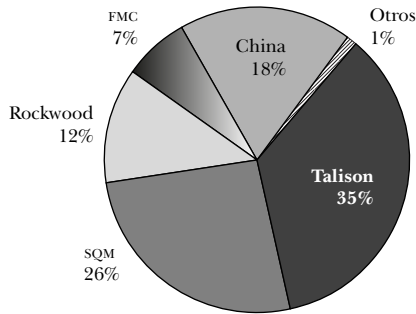
Gráfica 2
PRODUCTORES



Fuente: Fox-Davies (2013).

La concentración de la producción es igual de notoria cuando se analizan las empresas productoras. Cuatro de ellas concentran el 80 por ciento de la producción mundial. La mayor participación de mercado (con 35 por ciento) la tiene la empresa austriaca Talison, el único productor de mineral de litio en Australia, constituyéndose en el líder mundial en la producción de concentrados de litio a partir de minerales, en segundo lugar se encuentra la empresa chilena SQM, con un 26 por ciento del mercado, a partir de su producción en las plantas del Salar de Atacama; Rockwood Lithium es la tercera compañía en tamaño, tiene una participación de mercado de un 12 por ciento, a partir de plantas en el Salar de Atacama —considerando su producción en Chile y Estados Unidos, a través de su subsidiaria Sociedad Chilena del Litio (SCL) y la estadounidense Silver Peak en Nevada—; FMC Corporation, con operaciones en el Salar del Hombre Muerto en Argentina, es la cuarta compañía en importancia a nivel mundial, y representa el 11 por ciento del mercado (Fox-Davies, 2013). La gráfica 3 ilustra la concentración por productor.

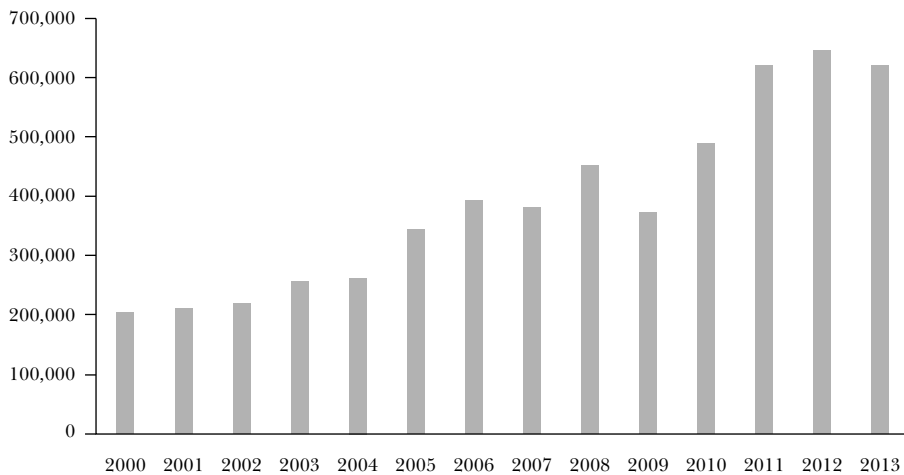
Gráfica 3
OFERTA DE LITIO POR PRODUCTOR (2012)



Fuente: Fox-Davies (2013).

La producción mundial de litio obtenida de minerales y salmuera ha ido creciendo en los últimos años. Los datos que siguen están expresados en toneladas métricas de producto bruto de litio, estos datos no incluyen la producción de Estados Unidos (USGS, 2015). Como puede verse en la gráfica 4, la producción se incrementó cerca de un 200 por ciento de 2000 a 2013.

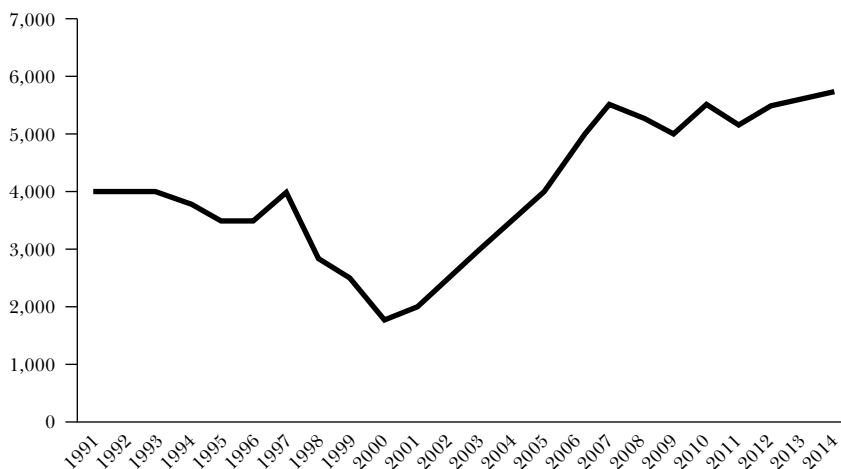
Gráfica 4
PRODUCCIÓN MUNDIAL DE LITIO (TONELADAS MÉTRICAS)



Fuente: Elaboración propia con base en USGS (Enero, 2015).

También los precios han venido aumentando de manera sostenida hasta la crisis del 2007-2008. La lista de precios del litio, como materia prima, es publicada por los mayores productores y son negociados directamente con los compradores. Tal como muestra la gráfica 5, los precios se triplicaron desde el año 2000 hasta el 2014. En el 2000 el precio del carbonato de litio se encontraba alrededor de 2,000 dólares por tonelada, y llegó a cerca de 6,000 dólares en el 2014.

Gráfica 5
PRECIO PROMEDIO DEL CARBONATO DE LITIO (USD/TONELADA)



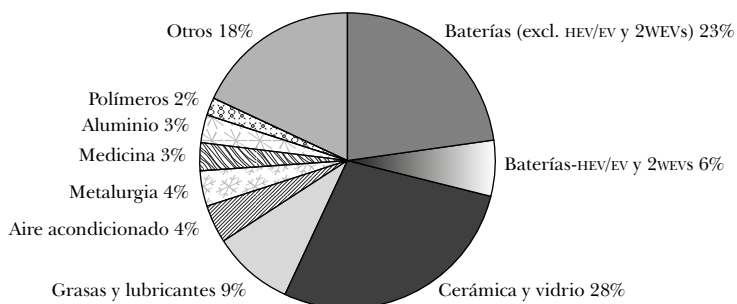
Fuente: SignumBOX en Comisión Nacional de Litio (Chile, enero de 2015).

La industria del litio es muy diversificada, sus usos son variados, desde industriales como aire acondicionado, grasas y lubricantes, cerámica y vidrio, polímeros, baterías, hasta en la medicina. La gráfica 6 muestra el porcentaje de participación en el mercado de los diferentes productos obtenidos a base de litio, donde la demanda de baterías es la que predomina.³ Dadas las características de las baterías de litio,⁴ no sorprende que la demanda proyectada de este producto se incremente.

³Entre 2000-2008, la demanda mundial del litio creció a una tasa promedio anual de 6 por ciento, situación influenciada por el desarrollo de las baterías recargables. Por otro lado, si se distingue la demanda del litio sin considerar su uso en baterías, está experimentando un crecimiento de alrededor del 4 por ciento anual (Comibol, 2012: 81).

⁴Las baterías de litio tienen la capacidad de almacenar gran cantidad de energía en poco espacio, son más durables y medioambientalmente amigables.

Gráfica 6
DEMANDA DE LITIO POR APLICACIÓN (2013)



Fuente: Fox-Davis (2013).

Un mayor detalle de las diferentes aplicaciones puede apreciarse en el cuadro 3.

Desde la década de los noventa, se están desarrollando tecnologías a base de litio para la industria automotriz. Las compañías automovilísticas —como Hyundai, Nissan, Mitsubishi, General Motors y Mercedes Benz—, continúan avanzando en sus programas de desarrollo de automóviles híbridos y eléctricos (HEV y EV, por sus siglas en inglés), que utilizan baterías de litio. Los grandes avances en las dos últimas décadas en las baterías de litio han permitido que sea realmente posible la movilidad eléctrica. No obstante, queda mucho por avanzar en esta materia. Cerca del 95 por ciento de las baterías son utilizadas en dispositivos electrónicos que están basados en litio.

Frente a este contexto internacional de incremento de la producción de litio para diversas aplicaciones, destacando las baterías, la situación de Bolivia con sus amplias reservas no explotadas coloca al país en una situación particular.

Al suroeste del altiplano de Bolivia, ubicado en el departamento de Potosí, se encuentra el Salar de Uyuni, con una extensión mayor a cualquier otro salar en el mundo: aproximadamente 10,582 km², situado a una altura promedio de 3.653 metros sobre el nivel del mar (msnm). Es el mayor depósito de litio (Li) en el mundo, y según estudios de la Universidad de Duke de Estados Unidos, se llegó hasta los 220 metros de profundidad, sin tocar el fondo mismo. El clima es árido con precipitación anual de 350 mm especialmente de enero a marzo y una temperatura máxima de 14°C (Comibol, 2010).

Cuadro 3

PRINCIPALES APLICACIONES DEL LITIO

| <i>Li en PCs portátiles (laptops)</i> | <i>Li en teléfonos celulares y smartphones</i> |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Representa el mayor uso de litio en baterías. • El contenido de litio, en una batería de Li-ión, es de 35-45 gramos de LCE. • Se estima que para 2011, el consumo fue de 14 800 TM de LCE. • La demanda anual promedio del segmento es de 10%, aunque va decayendo por el ingreso al mercado de nuevas aplicaciones tecnológicas. | <ul style="list-style-type: none"> • Dependiendo de la especificación, la batería de un celular requiere alrededor de 1.6-1.8 gramos de LCE, mientras que un <i>smartphone</i> requiere alrededor de 2.0-2.2 gramos de LCE. • Se estima que para 2011, el consumo fue de 6,000 TM de LCE (tanto para celulares como para <i>smartphones</i>). • La proyección de consumo, para el 2020, es de 15,000 TM de LCE. |
| <i>Li en tablets</i> | <i>Li en HEV y EV</i> |
| <ul style="list-style-type: none"> • El iPad requiere alrededor de 17-20 gramos de LCE. • Se constituye en el sector con mejores indicadores de crecimiento. • Considerando el consumo como parámetro de estimación, se presume que el sector, para el 2020, requerirá alrededor de 10,000 TM de LCE. | <ul style="list-style-type: none"> • Se trata de un nicho de alto precio. • En los HEV, la energía cinética del vehículo es almacenada en la batería, la cual impulsa al motor eléctrico (ME). • En los EV, la potencia específica del vehículo es menos importante que la energía específica, que determina la autonomía del ME. • Un paquete de baterías de ión litio varía en cuanto al requerimiento de Li₂CO₃, por ejemplo, para una batería de 23 KWh se requiere en promedio 16 kilos de Li₂CO₃, una batería de 60 KWh contiene entre 40-45 kg de Li₂CO₃. Se estima que en el año 2011, se requirieron del orden de 3,300 TM de Li₂CO₃. |

Litio en esmaltes, vidrios y cerámicas

Litio en grasas lubricantes

- El litio favorece al proceso de fusión, puesto que disminuye la viscosidad y el punto de fusión térmico.
- Se estima que en 2011 alrededor de 33,000 TM de LCE fueron empleadas para estas aplicaciones.
- Esto representa el 28% de la demanda de litio.

- En forma de LiOH brinda un mejor rendimiento, mayor tolerancia a altas temperaturas y mejor resistencia al agua.
- Por ello, este tipo de grasas se emplean en maquinaria pesada y aeronaves.
- Se estima que alrededor de 10,600 TM de LCE se utilizan en el sector.

Litio en metalurgia

Litio en aire acondicionado

- Como LiCl, puede emplearse en la soldadura.
- El Li_2CO_3 se utiliza en el proceso de colada del acero. China lidera esta industria, por lo que la mayoría del litio que se requiere para este uso, está cubierto por la producción local.
- En 2011, se estima que el sector demandó alrededor de 4,700 TM de LCE.

- El bromuro de Litio (LiBr) se utiliza en sistemas de aire acondicionado, por su capacidad de absorber grandes cantidades de vapor de agua.
- La demanda del sector se debe principalmente a la actividad de la construcción.
- Se estima que en el año 2011, el sector demandó cerca de 5,300 TM de LCE.

Litio en medicina

Litio en electrolisis del aluminio (Li-Al)

- Sales de litio se emplean como estabilizadores en el tratamiento de trastornos bipolares y como estimulante del efecto de los antidepresivos.
- Es empleado, también, como catalizador en los tratamientos de cáncer y SIDA.
- Su crecimiento en el sector es del 2-3% al año.

- Se usa Li_2CO_3 porque reduce la temperatura, incrementa la conductividad y baja la viscosidad.
- La emergencia de tecnologías más ácidas ha reducido su empleo, pero la aplicación de aleaciones de Li-Al en el Airbus 380 y el Boeing 787, muestran que la tendencia actual podría revertirse.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4
CARACTERÍSTICAS DE LA SALMUERA DEL SALAR DE UYUNI

| <i>IÓN</i> | <i>Sur del Salar [g/L]</i> | <i>Promedio del Salar [g/L]</i> |
|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Litio (Li) | 1.00 | 0.63 |
| Magnesio (Mg) | 19.10 | 15.02 |
| Potasio (K) | 18.94 | 13.84 |
| Sodio (Na) | 84.54 | 96.28 |
| Calcio (Ca) | 0.33 | 0.45 |
| Sulfato (SO ₄) | 21.28 | 22.59 |
| Cloruro (Cl) | 201.26 | 190.00 |
| Boro (B) | 0.85 | 0.50 |
| Densidad [g/cm ³] | 1.25 | 1.22 |
| pH a 15 °C | 6.80 | 7.14 |

Fuente: Elaboración propia con base en GNRE (2013).

El 1 de abril de 2008 el Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia, mediante Decreto Supremo 29496, declara como Estrategia Nacional la explotación e industrialización de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni, encarando el mismo como un proyecto 100 por ciento estatal (Comibol, 2010). Esta estrategia nacional consta de tres fases:

Fase I: destinada a la producción a escala piloto de carbonato de litio y una producción a escala semiindustrial de cloruro de potasio (KCL), iniciadas en 2011 y concluidas a finales de 2014.

Fase II: implementación de la planta industrial con capacidad de producción de 30,000 TM/año de Li₂CO₃, y 700.000 TM/año de KCL.

Fase III: fabricación de materiales de cátodo, electrolitos, a través de una asociación y/o compra de llave en mano de tecnología desarrollada —producción de baterías a base de litio. La generación de valor agregado al Li₂CO₃, constituye el eje principal de la estrategia que procura consolidar el Estado.

Desde que se declaró al Salar de Uyuni como Reserva Fiscal Minera —hace ya casi cuatro décadas— se han realizado estudios de distintas empresas/instituciones para determinar las reservas del Salar de Uyuni. El cuadro 5 resume estos estudios.

La obtención del carbonato de litio comienza con la perforación de pozos e instalación de los ductos y bombeo de las salmueras a las piscinas de evaporación, a continuación se realiza la separación de los diferentes elementos constituyentes de la salmuera extraída, esto es realizado mediante un proceso de evaporación (sistema de piscinas de evaporación solar), obteniendo en primera instancia la silvinita para su procesamiento y obtención

Cuadro 5
RESERVA DE LITIO EN BOLIVIA (ESTIMACIONES)

| <i>Empresa/Institución</i> | <i>País</i> | <i>Profundidad de perforación</i> | <i>Cálculo de reserva en toneladas de litio</i> |
|----------------------------|----------------|-----------------------------------|---|
| ORSTOM-IRD | Francia | 120 metros | 8.9 millones |
| EVANS* | Estados Unidos | – | 5.5 millones |
| USGS** | Estados Unidos | – | 9 millones |
| Universidad de Duke | Estados Unidos | 220 metros (sin tocar fondo) | No realizaron cálculos de reservas, pero dejaron el dato de profundidad |
| GNRE | Bolivia | 220 metros | 100 millones |

*EVANS (2009) en Del Barco (2012).

**USGS (2012).

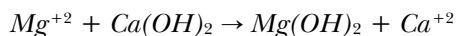
Fuente: Elaboración propia con base en datos de GNRE (2013).

de cloruro de potasio, el proceso de separación de elementos continua hasta la obtención de sulfato de litio, materia prima que se procesa en la planta piloto para la obtención de carbonato de litio. La evaporación produce saturación en solutos, que permite que se eleven las concentraciones de lasales, por efecto de las oscilaciones de temperatura se empiezan a producir nucleación y crecimiento de los cristales (GNRE, 2013).

En función de la composición y la cantidad de magnesio (Mg) presente en el cristal, se establecen las siguientes etapas:

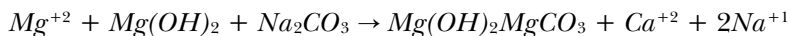
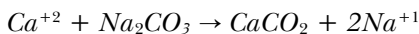
Dilución: Este proceso se realiza para que la actividad de los iones de la salmuera aumente (debido a la dilución), mediante la adición de agua o agua madre, para que la concentración de litio disminuya hasta 1 por ciento.

Encalado: La salmuera diluida reacciona con cal de elevada pureza, aproximadamente de 70 a 75 por ciento, el magnesio reacciona con el hidróxido de calcio, precipitando el hidróxido de magnesio, según la siguiente reacción:



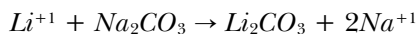
Después de esta reacción, se realiza una primera separación del hidróxido de magnesio —Mg(OH)₂— ayudando en el proceso de separación el sulfato de calcio —CaSO₂— mediante un filtrado, disminuyendo la cantidad de magnesio.

Carbonatación: Se realiza el agregado de carbonato de sodio — Na_2CO_3 —, luego se calienta el sistema hasta una temperatura que este entre 40 y 60 °C, hasta que el precipitando tenga una composición más estable según las siguientes reacciones:

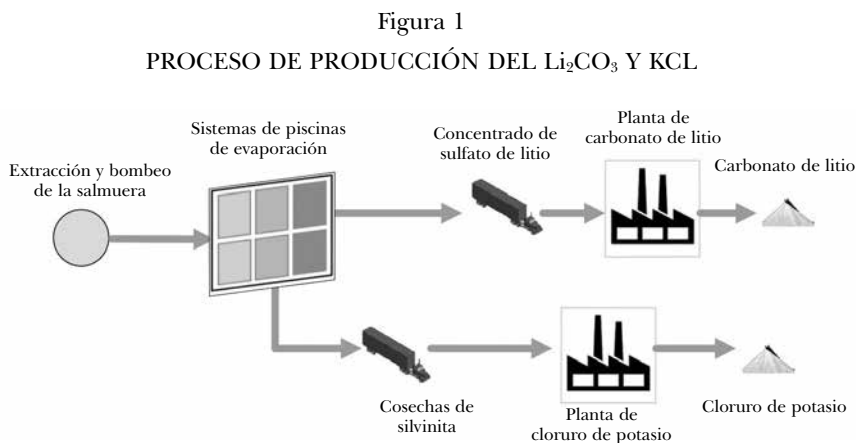


Una vez que el precipitado tenga una composición más estable, éste es separado mediante un filtrado, dejando a la solución remanente con pequeñas cantidades de magnesio y calcio.

La segunda etapa de carbonatación, se realiza agregando la cantidad suficiente de carbonato de sodio, en función a la cantidad de litio que esta presente en la solución remanente y se somete a un calentamiento de hasta 90 °C, temperatura en la que se forma el carbonato de litio.



Obtenido el carbonato de litio, se realiza un lavado y una separación del precipitado mediante filtrado (GNRE, 2013: 36-38). La figura 1 es un diseño general de los diferentes pasos del proceso de producción.



Fuente: Elaboración propia con base en la GNRE (2013).

Las nanotecnologías resultan estratégicas en la producción de baterías de litio

Desde los años noventa, el litio se ha considerado el material más eficiente para la elaboración de diferentes tipos de baterías (las primeras baterías de litio fueron introducidas por Sony en 1991), sin embargo, el ir mejorándolas parece ser una carrera sin fin.⁵ El reto tecnológico actual es un dispositivo que esté siempre conectado a Internet y que combine el teléfono celular, la computadora, el centro de entretenimiento, la cámara de fotos, el grabador, el laboratorio personal y muchas otras cosas. Esto debe lograrse en un dispositivo pequeño, liviano y con gran densidad de energía acumulada y rápida recarga.

Entre los sistemas de almacenamiento de energía a base de litio se distinguen: las primarias o no recargables, destinadas a completar un ciclo (totalmente descargada) sólo una vez y luego desecharlas, incluye las tipo moneda o las pilas cilíndricas utilizadas en calculadoras y cámaras digitales. Las secundarias o recargables, por lo general se diseñan para tener una vida de entre 100 y 1,000 ciclos de recarga, dependiendo a la composición de los materiales. Las pilas secundarias son, en general, más rentables en tiempo que las baterías primarias.

Uno de los problemas que se tiene en las actuales baterías, es el corto tiempo de autonomía, y el hecho que a medida que envejece la batería, su autonomía disminuye. También está el potencial inflamable del litio. Las baterías funcionan transfiriendo iones-Li entre los dos electrodos de la batería (positivo y negativo) a través de un electrolito líquido. Cuanto más eficientemente los iones pasan de un electrodo a otro, mayor será la capacidad de la batería (Del Barco, 2012).

Diversos estudios de nanotecnología han ido en busca de soluciones a estos problemas, obteniendo lo siguiente: compuestos nanotecnológicos de grafito y silicio son utilizados para cubrir el ánodo y hacer las baterías más estables (Georgia Institute of Technology, 2010). Baterías de ión-Li con ánodo basado en nanopartículas de titanato de litio, que permiten trabajar en condiciones de alta potencia, son de mayor durabilidad —en comparación de las baterías de ión-Li con ánodo de grafito— y sus tiempos de recar-

⁵Las baterías de ión-Li son, hoy en día, producidas por miles de millones de unidades al año, asimismo, se observa que estos sistemas de almacenamiento son altamente aplicables al campo de energías alternativas, y en la industria automotriz —automóviles HEV, EV y PHEV—, generándose, en los próximos años una demanda exponencial para estos sistemas de almacenamiento.

ga son sustancialmente más cortos, además, cuentan con una gran estabilidad térmica, lo que las hace más durables.

El impacto que han tenido las nanotecnologías en el campo de las baterías ha sido clave en el transcurso de los últimos años. Varios estudios, como el llevado adelante por un colectivo de investigadores de la Universidad Tecnológica de Nanyang (Singapur) han marcado el desarrollo del sector a partir de la aplicación de procesos nanotecnológicos en la aceleración de recarga de la batería (Tang *et al.*, 2014). El reporte da cuenta de una batería compuesta por iones de litio configurada reemplazando al grafito (tradicionalmente empleado como ánodo) por un nuevo material a base de dióxido de titanio (TiO_2). Dado que este material tiene la forma esférica, los científicos desarrollaron un método para convertir las partículas de dióxido de titanio en diminutos nanotubos facilitando la cinética de las reacciones químicas, afectando directamente al periodo de recarga. Se concluye que su aplicación conlleva un menor impacto ambiental por la drástica reducción de residuos con relación a la actual generación de baterías de litio (soportando 20 veces más que las actuales) y la reducción del tiempo de recarga.

No solamente la academia ha dado luces sobre el desarrollo de las baterías a partir de procesos nanotecnológicos. La industria en su conjunto está invirtiendo fuertemente en litio asociado a nanotecnología. Toshiba Corporation ha desarrollado una batería de litio capaz de recargar un 80 por ciento de su capacidad en tan solo un minuto gracias al uso de la nanotecnología. Esto multiplica hasta 60 veces la velocidad de recarga de las baterías actuales de litio. Este nuevo prototipo presenta una capacidad de 600 mAh, tiene dimensiones de $3.8 \times 62 \times 25$ mm y pesa sólo 16 gramos (Toshiba Corporation, 2013).

La producción de baterías de ion-Li, demanda materiales catódicos, anódicos y electrolitos. Para lograr la producción de baterías de ion-Li, en Bolivia, la estrategia nacional de industrialización de los recursos evaporíticos pretende desarrollar al mismo tiempo las industrias, tanto para la generación de productos de química fina, como la de producción de electrodos, inicialmente catódicos, centrada en óxidos de litio manganeso, y de fosfato de hierro litio, como se observa en el cuadro 6.⁶

Bolivia tiene una política energética al 2025 que pretende concretizar el 100 por ciento de electrificación domiciliar y de servicios sociales en áreas rurales, donde se demanda la instalación de aproximadamente 200 mil nuevos sistemas fotovoltaicos. Por otro lado, en el marco de producción

⁶La Universidad Mayor de San Andrés, en La Paz, es la institución que, en Bolivia, se encuentra a la vanguardia en investigaciones en este campo.

energética excedentaria, se visualiza la construcción y puesta en marcha de parques fotovoltaicos y eólicos para alimentar al Sistema Integrado Nacional (SIN). Al mismo tiempo, a nivel mundial se está impulsando en el campo de energías renovables (sistemas fotovoltaicos, eólicos, microcentrales hidroeléctricas) la sustitución de los sistemas de almacenamiento estacionario, tradicionalmente de baterías de Pb-ácido por baterías ion-Li. Principalmente, porque éstas presentan un ciclo de vida (carga/descarga) y densidades energéticas (Ah/kg) elevadas, consistentes con las necesidades de aplicación, en demanda de almacenamiento y el tiempo de vida. Una ventaja adicional es el menor nivel de contaminación ambiental, elemento clave para su aplicación en áreas rurales.

Cuadro 6
MATERIALES CATÓDICOS, ANÓDICOS Y ELECTROLITOS REQUERIDOS
PARA LA PRODUCCIÓN DE BATERÍAS

| <i>Sistema de electrodos</i> | <i>LC-Grafito</i> | <i>NMS-Grafito</i> | <i>LFP-Grafito</i> | <i>MS (espinela)-Grafito</i> | <i>MS-LTiO</i> |
|------------------------------|--------------------|--|---------------------|----------------------------------|---|
| Positivo (cátodo) | LiCoO ₂ | LiNi _{0.5} Mn _{1.5} O ₂ | LiFePO ₄ | LiMn ₂ O ₄ | LiMn ₂ O ₄ |
| Negativo (ánodo) | Grafito | Grafito | Grafito | Grafito | Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ |

Fuente: Cabrera (2015).

Las actuales baterías existentes en el mercado, y las que la Dirección de Electroquímica y Baterías de la GNRE plantean obtener en la planta de materiales catódicos, corresponden a configuraciones de óxido de manganeso litio (LMO) y fosfato de hierro litio (LFP). En ambos casos, los niveles de ciclabilidad son cercanos a 300 ciclos con capacidades de generación de 4 voltios, condiciones adecuadas para su aplicación en el campo de energías renovables (celdas fotovoltaicas).

En este marco se hace necesario concretizar el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía de ion-Li en Bolivia, adecuados para esta demanda nacional, y extenderla para cubrir otros mercados a nivel internacional.

Bolivia tiene como política nacional desarrollar la industria de base mineral. En el corto plazo, en productos químicos básicos; a mediano plazo químicos finos y materiales; a largo plazo, alcanzar la producción de baterías y otros sistemas energéticos para el mercado de las energías renovables, o incluso el de la industria automotriz. Esta iniciativa es operativizada por la GNRE dependiente de la Comibol. El proyecto de industrialización demanda

a corto y mediano plazo el desarrollo de CTI ligada a la formación de talentos humanos que sean capaces de responder a este reto nacional.

Adicionalmente, el proyecto no sólo obliga a desarrollar la cadena productiva del litio, sino también el desarrollo de una industria paralela en química básica y química fina orientada a otros insumos claves, como el hierro, manganeso, níquel, fósforo, carbono grafito, titanio, estaño, y cobre y aluminio electrolíticos, debiendo generarse además las capacidades industriales en la producción de materiales de interés energético (materiales catódicos, anódicos, electrolitos, y otros), logrando la producción final de baterías de litio. Dadas las características del Salar de Uyuni, la industrialización de los recursos evaporíticos permite incorporar otras líneas de desarrollo industrial con base en potasio, magnesio, y boro, cuyos productos químicos de consumo intermedio o final son requeridos en el mercado nacional e internacional (PNEM, 2015).

El diagnóstico conjunto entre el sector universitario nacional, y la GNRE-Comibol, desarrollado a partir del trabajo coordinado de la plataforma nacional en energía y minería (PNEM), estructurada desde el Estado —a través de la Red Nacional de Energías Renovables— ha permitido identificar las necesidades en CTI en el campo de materiales de base mineral para su aplicación al campo energético; estas necesidades están resumidas en los anexos 1 y 2. La capacidad instalada con que cuenta la Red, tiene entre su principal aporte, el colectivo de laboratorios equipados para investigaciones en el campo de las nanotecnologías, perteneciente a la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) (Laboratorio de síntesis de materiales, procesos catódicos y energías renovables).

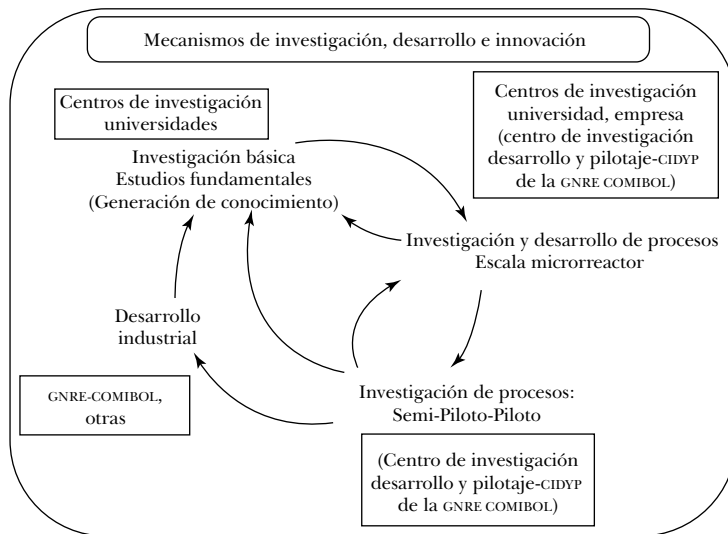
Bajo esta lógica, el trabajo conjunto de la plataforma plantea la necesidad de estructurar un programa en innovación en materiales de base mineral para el campo energético, con el objetivo de consolidar sinérgicamente mecanismos de interacción, con base en la participación de tres sectores, universidades, gobierno y empresa, concretizando el desarrollo industrial del sector demandante.

El programa plantea la consolidación de la CTI en sinergia con la formación de talentos humanos a nivel de especialistas (respuestas inmediatas a las demandas de la GNRE), maestría con diferentes menciones, y doctorado (programa y plan de formación en anexo 3 y 4).

Un elemento distintivo de la propuesta boliviana es la conformación de centros de investigación en ciencia y tecnología de materiales y recursos evaporíticos (CICYT MAT-REB) de directa dependencia de la GNRE. Los objetivos de las plantas piloto y del Centro de Investigación están enmarcados en la for-

mación y capacitación de recursos humanos, la evaluación de las diferentes alternativas de producción, el ajuste de operación y parametrización, llevar adelante el proceso de logística y gestión de proyectos además de consolidar estudios de factibilidad y TESA (técnico, económico, social y ambiental) para los proyectos industriales vinculados a los recursos evaporíticos.

Figura 2
 INTERACCIÓN UNIVERSIDAD-GOBIERNO-EMPRESA
 PARA EL DESARROLLO DEL PROGRAMA



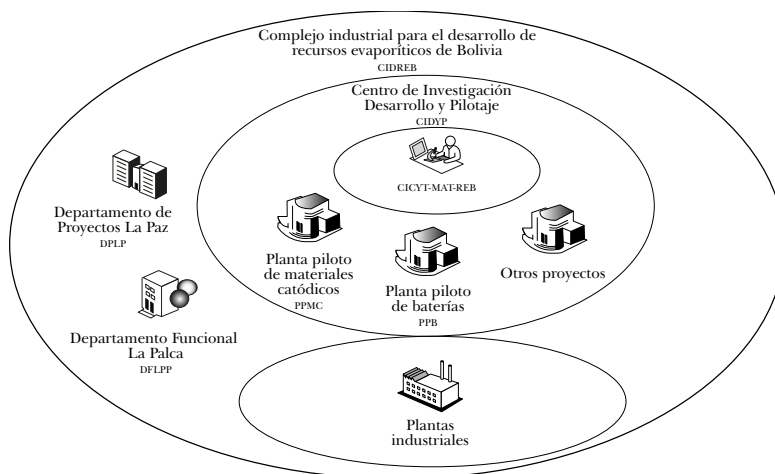
Fuente: PNEM (2015).

La inversión comprometida por el Estado, solamente en cyT vinculada a esta iniciativa, está proyectada en cerca de 40 mil millones de dólares hasta el año 2019 (5 mil millones en una primera etapa y el restante en la consolidación de la fase industrial), es decir, alrededor del 4.3 por ciento de la inversión total proyectada.⁷

⁷Según la información de la GNRE, sumando toda la inversión, el proyecto de industrialización del litio alcanza a 925, 2 millones de dólares. En la primera fase piloto, el Estado invertirá más de 26.3 millones de dólares hasta la gestión 2019. En la segunda fase se han invertido, hasta la fecha, 115.1 millones de dólares, y entre el 2015 al 2019 se van a invertir 628.6 millones; haciendo un total de más de 743.7 millones. Finalmente en la fase tres de industrialización con el crédito se han invertido ya 6.2 millones y del 2015 al 2019 se van a invertir más de 149.1 millones. Disponible en <http://www.evaporiticos.gob.bo/?p=1881#more-1881>

La estructura de CICYT MAT-REB da cuenta de la conformación de un complejo industrial para el desarrollo de los recursos evaporíticos de Bolivia (CIDREB) con una relación directa con los departamentos de proyectos en la ciudad de La Paz (DPLP) y el departamento funcional de La Palca-Potosí (DFLPP), en una relación de interdependencia con el Centro de Investigación Desarrollo y Pilotaje (CIDYP), la planta de materiales catódicos (PPMC), la planta piloto de baterías (PPB) y las plantas industriales proyectadas. La estructura conceptual puede verse en la figura 3.

Figura 3
ESTRUCTURA CONCEPTUAL DEL FUNCIONAMIENTO
DEL CICYT MAT-REB



Fuente: Dirección de electroquímica y baterías, GNRE.

Parte de este centro de investigación y producción ya está en funcionamiento. Con ello, la fase de inversión escalonada en lo que concierne a CYT en la industrialización del litio se encuentra en pleno desarrollo, cuyos resultados globales (de todo el complejo) podrán ser evaluados recién en un mediano plazo. El anexo 5 muestra el detalle de los proyectos, personal y laboratorios.

Conclusiones

El presente capítulo aborda dos aspectos claves: la política boliviana en CTI (considerando su énfasis en nanotecnología), y su impacto en la estrategia

de industrialización del litio, cuya demanda mundial y las perspectivas futuras se constituyen en el principal factor para las investigaciones sobre el mineral.

Ciertamente, el interés por el cambio tecnológico y la innovación, y cómo estos fenómenos se insertan en las políticas económicas nacionales, ha venido creciendo notablemente en las últimas décadas; y ello se expresa en que las políticas industriales —tanto en los países desarrollados como en la mayoría de aquellos en desarrollo— incluyen cada vez más explícitamente el componente tecnológico. Tal es así que la capacidad de innovación es considerada como el factor más decisivo en la determinación de la competitividad de organizaciones y países en el contexto del modelo de globalización actualmente imperante. Aunque debe reconocerse que en muchas oportunidades —en particular en los países de América Latina— esas acciones gubernamentales se reducen más a referencias retóricas que a prácticas reales, los resultados en aquellas sociedades que han atendido con seriedad el cambio tecnológico y la innovación se muestran como una clara evidencia de su impacto en el crecimiento y el desarrollo.

En este sentido, el PNCTI boliviano a razón de sus tres fuentes de convergencia conceptual (la CPE vigente, la *Ley de educación* número 70 Avelino Siñani-Elizardo Pérez y la APB-2025) expresa de manera clara que el conocimiento y la tecnología son fundamentales para impulsar el modelo de desarrollo planteado para el Estado boliviano. La perspectiva sectorial del PNCTI da cuenta de políticas de industrialización que requieren procesos de I+D tecnológico que sustenten las nuevas capacidades para el desarrollo y transformación en sectores estratégicos priorizados por el Estado.

En el sector minero en particular, las acciones identificadas dan cuenta de estrategias de formación de talento humano para cubrir la demanda de formación técnica, académica y científica, así como las líneas de investigación adecuadas a las demandas del desarrollo del sector, apuntando a la conformación de complejos productivos descritos en términos de minería tradicional y no tradicional. Es aquí, donde se establecen los lineamientos estratégicos de la transformación de los recursos evaporíticos de Bolivia con un esfuerzo vinculado al desarrollo de CTI. El objetivo de las mismas es desarrollar productos de química básica, química fina y materiales, alcanzado en el largo plazo la producción de baterías y otros sistemas energéticos para el mercado de las energías renovables y la industria automotriz. Bajo este entorno, aunque no de manera explícita, la política boliviana en CTI reconoce la necesidad de llevar adelante investigación vinculada estrechamente a las nanotecnologías. De hecho, los estudios actuales en el área dan cuenta de su abordaje.

Los recientes esfuerzos por un trabajo integral de actores (Estado-universidad-GNRE), bajo el funcionamiento de la red nacional de energías renovables y la plataforma nacional en energía y minería, han acercado las investigaciones en el área de materiales de base mineral para su aplicación en el campo energético, y se encuentran llevando adelante iniciativas de formación de talento humano local en el área, tanto para dar respuesta inmediata a las demandas de la GNRE como para ampliar las capacidades nacionales en el mediano y largo plazo. Esto último involucra alcanzar sinergias de acciones en CTI haciendo uso de la capacidad científica instalada, como también aquella que se encuentra en pleno proceso de montaje por parte de la GNRE en lo que se conoce como la conformación de centros de investigación en CYT de materiales y recursos evaporíticos (CICYT MAT-REB), con una inversión proyectada de cerca de 40 mil millones de dólares hasta el año 2019, alrededor del 4.3 por ciento de la inversión total del proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos en Bolivia.

Anexo 1

NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN EN CTI PARA EL SECTOR DE BASE MINERAL

| <i>Área de conocimiento</i> | <i>Líneas estratégicas en investigación CTI</i> |
|--|--|
| 1. Industria de Procesos Metalúrgicos y Química Básica | 1.1. Procesos de producción de Li_2CO_3 1.2. Procesos de producción de KCl 1.3. Procesos de producción de productos en base a boro y magnesio. 1.4. Procesos de producción de productos químicos en base a manganeso, hierro, níquel, estaño y fósforo. 1.5. Procesos de producción de productos químicos en base a carbono-grafito y titanio. |
| 2. Industria de Química Fina | 2.1. Procesos de obtención de compuestos inorgánicos de alta pureza en base a litio (carbonato de litio, hidróxido de litio, litio metálico). 2.2. Procesos de obtención de compuestos de alta pureza de sales y/o óxidos de hierro, manganeso, níquel, y de ácido fosfórico para la industria de baterías. 2.3. Procesos de purificación de compuestos base de C-grafito, sales de titanio y estaño, y metales de cobre y aluminio electrolítico. |

| <i>Área de conocimiento</i> | <i>Líneas estratégicas en investigación CTI</i> |
|---|---|
| 3. Industria de materiales, baterías de ion litio y su aplicación al campo energético | <p>3.1. Procesos de obtención de materiales catódicos (LiNiMnO, LiMnO, LiFePO, y otros) para sistemas de almacenamiento de energía baterías de ion litio, supercapacitores, otros).</p> <p>3.2. Elaboración de electrolitos (LiPF₆, sales de litio de alta pureza) y electrolitos sólidos tipo LISICON de interés en baterías de ion litio.</p> <p>3.3. Procesos de obtención de materiales anódicos de carbono-grafito, carbono-grafito/MO y MS, MO = Óxidos de estaño, o titanio, o cobre, o zinc, MS = sulfuros de estaño, o indio, o titanio), y óxidos de titanio litio.</p> <p>3.4. Desarrollo de construcción y caracterización de celdas y baterías de ion-litio.</p> <p>3.5. Estudios de rendimiento eléctrico de las baterías de ion litio en su aplicación al campo de energías alternativas.</p> |

Fuente: PNEM (2015).

Anexo 2

NECESIDADES EN FORMACIÓN DE TALENTO HUMANO PARA EL SECTOR DE BASE MINERAL Y SU APLICACIÓN AL CAMPO ENERGÉTICO

| <i>Área de conocimiento</i> | <i>Área de demanda en formación de talento humano</i> | <i>Demanda de profesionales formados/tiempo</i> |
|--|---|--|
| Industria de Química Básica | Procesos metalúrgicos y de tecnología química inorgánica en el procesamiento de salmueras y minerales para la obtención de productos de química básica. | Corto y mediano plazo (3 años). Formación de 10 especialistas y 10 maestros. |
| Industria de Química Fina | Procesos de tecnología química Inorgánica para la obtención de productos químicos de alta pureza. Corto y mediano plazo (3 años). Formación de 10 especialistas y 10 maestros. | |
| Industria de materiales, baterías de ion litio y su aplicación al campo energético | Procesos de producción de materiales electroactivos, celdas de litio ion y supercapacitores, evaluación electroquímica, y de su aplicación en el campo de energías renovables. | Mediano y largo plazo (5 años). Formación de 5 especialistas, 10 maestros y 10 doctores. |

Fuente: PNEM (2015).

Anexo 3

PROGRAMA DE INNOVACIÓN Y DE FORMACIÓN EN TALENTOS HUMANOS
EN MATERIALES DE BASE MINERAL PARA EL SECTOR ENERGÍA

| | |
|---|--|
| <p>Especialista en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procesos metalúrgicos en la obtención de productos de química básica. • Procesos de tecnología química en la obtención de productos de química fina. • Materiales para el campo energético. • Sistemas de acumulación de energía. • Prospectiva para el campo energético. <p>Especialidad (1 año y 3 meses)-1,600 h</p> | <p>Una publicación nacional con base en su trabajo de grado-una monografía</p> |
| <p><i>Maestría en procesos de producción</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Productos de química básica de base mineral • Productos de química fina de base mineral <p><i>Maestría en materiales para el sector energético</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiales para el campo energético • Sistemas de acumulación para el campo energético <p>Maestría (2 años)-2,400 h</p> | <p>Dos artículos (uno publicado y uno enviado)</p> |
| <p>Doctorado en ciencia de materiales y energía Ciencia de materiales para sistemas de acumulación de energía</p> <p>Doctorado 5 años-5,200 h-4 publicaciones (dos publicados, dos enviados)</p> | |

Anexo 4

PLAN DE FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS Y DE INVESTIGACIÓN

| <i>Especialización en Recursos Evaporíticos</i> | | <i>Maestría en Industrialización de Recursos Evaporíticos</i> | <i>Doctorado en Industrialización de Recursos Evaporíticos</i> |
|---|---|---|---|
| Formación básica | Geología y metalurgia | Geología | Investigación científica, tecnológica e innovación en procesos de explotación y prospección. |
| | | Metalurgia | Investigación científica, tecnológica e innovación en procesos de explotación, beneficiado y concentración. |
| | Química básica y química fina | Química básica | Investigación científica, tecnológica e innovación en procesos de producción de compuestos de la química básica. |
| | | Química fina | Investigación científica, tecnológica e innovación en procesos de producción de compuestos de la química fina. |
| | Materiales y acumuladores de energía | Materiales | Investigación científica, tecnológica e innovación en procesos de desarrollo de materiales. |
| | | Acumuladores de energía | Investigación científica, tecnológica e innovación en procesos de producción de acumuladores de energía y su aplicación en campo de energías limpias. |
| | Desarrollo tecnológico industrial y económico de mercados | Gestión y evaluación de empresas industriales | Investigación científica, tecnológica e innovación en gestión y evaluación de empresas industriales y mercados. |
| Especialidad (1 año) → | | Maestría (1 año) → | Doctorado (2 años) → |
| 4 años → | | | |

Fuente: PNEM (2015).

Anexo 5

ACTORES DEL CICYT MAT-REB

| <i>Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales y Recursos Evaporíticos de Bolivia (CICYT MAT-REB)</i> | | | |
|---|--|---------------------------|-------------|
| Superficie | 1,300 m ² | Personal (2012-2013) | 81 personas |
| Proyectos (2012-2013) | Proyecto 1: Purificación de carbonato de litio. Proyecto 2: Síntesis de sales de litio y precursores. Proyecto 3: Síntesis y caracterización de materiales catódicos. Proyecto 4: Síntesis de electrolitos para baterías de litio. Proyecto 5: Litio metálico Proyecto 6: Obtención de otros productos derivados. | | |
| Experimentos (2012-2013) | | 20 Experimentos diseñados | |

| <i>Planta Piloto de Materiales Catódicos (PPMC)</i> | | | |
|---|---|-------------------------|-------------|
| Superficie | 500 m ² | Personal (2012-2013) | 18 personas |
| Productos | Oxido de manganeso litio (LMO) Fosfato de hierro litio (LFP) | | |
| Tecnología | Reacción en estado sólido Coprecipitación | | |
| Volumen de producción | | menos de 1 ton/año | |

| <i>Laboratorios</i> | | | |
|--|---|---|--|
| <i>Laboratorio de Electroquímica General</i> | Objetivo: Evaluación de materiales de electrodo y obtención de litio-metálico. <ul style="list-style-type: none"> • Electroquímica general • Purificación de carbonato de litio por técnicas electroquímicas • Síntesis de litio metálico (ánodo de baterías primarias de litio) | <i>Laboratorio de electroquímica de baterías</i> | Objetivo: Investigación en electroquímica de baterías de litio <ul style="list-style-type: none"> • Preparación de electrodos para baterías de litio • Ensamblado de celdas • Ensayos sobre baterías (ciclos de carga y descarga) • Experimentación electroquímica de baterías de litio. |
| <i>Laboratorio de Síntesis de Materiales</i> | Objetivo: Sintetizar componentes fundamentales de baterías que contienen litio <ul style="list-style-type: none"> • Síntesis de materiales para cátodos • Síntesis de sales de litio • Síntesis de electrolitos para baterías de litio | <i>Laboratorio de Caracterización de Materiales</i> | Objetivo: Investigación en electroquímica de baterías de litio <ul style="list-style-type: none"> • Caracterización por microscopía de electrodos • Caracterización electroquímica de electrodos • Caracterización superficial • Caracterización química. |

| | | | |
|--|---|---|---|
| Laboratorio de Caracterización de Materiales | Objetivo: Estudiar la relación estructura-propiedades en los materiales de electrodo. <ul style="list-style-type: none"> • Ensayos mecánicos sobre baterías • Ensayos térmicos sobre baterías • Control de calidad | Laboratorio de Ensayo de Materiales: | Objetivo: Estudiar la calidad de las baterías producidas. <ul style="list-style-type: none"> • Ensayos mecánicos sobre baterías • Ensayos térmicos sobre baterías • Control de calidad |
| Laboratorio de análisis químico: | | Objetivo: Estudio de la relación entre la composición química y la <i>performance</i> de la batería. <ul style="list-style-type: none"> • Análisis químico de electrodos • Análisis químico de electrolitos • Análisis de gases (oxígeno y agua) | |

| <i>Planta Piloto de baterías</i> | |
|----------------------------------|--|
| Objetivos | Ayudar a la selección de la tecnología más apropiada para la gama de productos que se piensan fabricar: |
| | Paralelamente ir desarrollando las capacidades (conformación de masa crítica) que garantizaran: |
| | <ul style="list-style-type: none"> • En una primera fase la efectiva absorción de la tecnología de fabricación de baterías. |
| | <ul style="list-style-type: none"> • En una segunda fase el desarrollo de capacidades propias de ingeniería, diseño e I+D. |
| Tecnología | Celdas ión-litio de 0.8 Ah. Tecnología: $\text{LiCoO}_2\text{-C}_{\text{grafito}}/\text{LiPF}_6$ |
| | Celdas ión-litio de 10 Ah. Tecnología: LiFePO_4 y $\text{LiMn}_2\text{O}_4\text{-C}_{\text{grafito}}/\text{LiPF}_6$ |
| | Baterías ión-litio de 0.8 Ah (para celular) |
| | Baterías de alta energía (0.5kWh-2kWh). |

Fuente: Dirección de electroquímica y baterías-GNRE.

Fuentes consultadas

ACEVEDO PEÑA, C. G., Céspedes Quiroga, W. M., & Zambrana Montán, J. E. (2015). Bolivian Innovation Policies: Building an Inclusive Innovation System. *Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 4.

AGUILAR, F. y Zeller, L. (2012). *El nuevo horizonte minero: Dimensiones sociales, económicas y ambientales*. Córdoba, Argentina: Centro de Derechos Humanos y Ambientales.

AGUIRRE-BASTOS, C. (2007). De tu innovación para la competitividad: ¿Qué perspectivas en Bolivia?, *Revista Temas en la Crisis*, 78(IV), La Paz, Bolivia, 9-12.

AGUIRRE-BASTOS, C. y Gupta, M. (diciembre de 2009). Science, technology and innovation policies in Latin America: Do they work? *Interciencia*,

- 34(12), Asociación Interciencia, Venezuela, 865-872. Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=33913151005>
- AGUIRRE-BASTOS, C., Mercado, A., Aguirre, J. L. *et al.* (2007). *Proyecto: Tecnologías Convergentes: ¿Qué está siendo hecho y que debería hacerse sobre ellas en los Países Andinos?*. (Informe Final de Investigación, RoKS/IDRC 2003-2004 Comprendiendo las dimensiones sociales y de política pública de tecnologías transformativas en el Sur). La Paz, Bolivia, 44-45.
- CABRERA, S. (2015). *Nanomateriales para el campo energético en Bolivia* (Presentación en el Primer Congreso de Divulgación de Nanotecnología). Oruro, Bolivia, junio.
- Comisión Chilena del Cobre (Cochilco) (2009). *Antecedentes para una política pública en minerales estratégicos: Litio*. (Documento elaborado por Camilo Lagos), octubre. Santiago de Chile: Dirección de Estudios y Políticas Públicas, 46.
- _____ (2009). *Mercado internacional del litio*, Santiago de Chile: Dirección de Estudios y Políticas Públicas. Agosto. 46.
- Corporación Minera de Bolivia (Comibol) (2011). *Memoria Institucional 2010-Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos*. La Paz, Bolivia: Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos, 100.
- _____ (2012). *Memoria Institucional 2011-Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos*. La Paz, Bolivia: Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos. 102.
- _____ (2013). *Memoria Institucional 2012-Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos*. La Paz, Bolivia: Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos. 125.
- _____ (2014). *Memoria Institucional 2013-Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos*. La Paz, Bolivia: Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos. 121.
- _____ (2015). *Memoria Institucional 2014-Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos*. La Paz, Bolivia. Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos. 115.
- Comisión Nacional de Litio (2009). *Litio: Una fuente de energía una oportunidad para Chile*. Chile: Ministerio de Minería. Enero. 100.
- Energética (2015). *Seminarios y Talleres*. Recuperado de [http://www.energetica.org.bo/esmap/\[06\]%20Herwing%20Borja%20-%20Bolivia.pdf](http://www.energetica.org.bo/esmap/[06]%20Herwing%20Borja%20-%20Bolivia.pdf)
- FOX-DAVIES (2013). *The Lithium Market*. September. Fox-Davies. Recuperado de <http://www.globalstrategicmetalsnl.com/content/documents/405.pdf>
- Georgia Institute of Technology (2010). Lithium-ion anode uses self-assembled nanocomposite materials to increase capacity. *Nanowerk*. 15 de marzo. Re-

- cuperado el 18 de diciembre de 2015 <http://www.nanowerk.com/news/newsid=15302.php>
- GNRE (Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos) (2013). *Memoria Institucional*. Recuperado de <http://www.evaporiticos.gob.bo/wp-content/uploads/2014/01/memoria2013.pdf>
- LAZCANO, M. (2014, agosto 5). CEPAL sitúa a Bolivia como el país líder en crecimiento en Sudamérica-*La Razón*, La Paz, 2.
- MARTIN, R. (2015). Quest to Mine Seawater for Lithium Advances. *MIT Technology Review*, 8 de junio. Recuperado de <http://www.technologyreview.com/news/538036/quest-to-mine-Seawater-for-lithium-advances/>
- MEEPB (Ministerio de Educación del Estado Plurinacional de Bolivia) (2013). *Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación*. La Paz. 1-112.
- (Ministerio de Educación del Estado Plurinacional de Bolivia) (2011). *Memoria de las Redes Nacionales de Investigación científica y tecnológica*. Viceministerio de Ciencia y Tecnología de Bolivia. La Paz. 1-161.
- (Ministerio de Educación del Estado Plurinacional de Bolivia) (2009). *Potencial Científico y Tecnológico Boliviano*. Viceministerio de Ciencia y Tecnología de Bolivia. La Paz, Bolivia. 1-126.
- PNEM (Plataforma Nacional de Energía y Minería) (2015). *Programa en Innovación en Materiales de Base Mineral para el campo energético*, Documento de trabajo, Red de Energías Renovables, La Paz, Bolivia.
- SÁNCHEZ, R. (2015). *Diagnóstico de la Ciencia y Tecnología en Bolivia*, Presentación del Viceministerio de Ciencia y Tecnología de Bolivia en el 1er Congreso de Divulgación de Nanotecnología en Bolivia. Oruro, Bolivia, Junio.
- Signum BOX (2012). Lithium Industry: Outlook and Perspectives. Signum BOX. Recuperado el 19 de junio de <http://www.globalxfunds.com/commodities/lithiumetp/whitepaper/Lithium%20Presentation%2006-19-12.pdf>
- SCHWAB, K. (2014). *The Global Competitiveness Report 2014-2015*, Insight report, World Economic Forum, Geneva.
- TANG, Y., Zhang, Y., Deng, J., Wei, J., Tam, H. L., Chandran, B. K., Dong, Z., Chen, Z. y Chen, X. (2014). Mechanical Force-Driven Growth of Elongated Bending TiO₂-based Nanotubular Materials for Ultrafast Rechargeable Lithium Ion Batteries. *Advanced Materials*, 26, 6111-6118.
- Toshiba Corporation (2013, abril). *Toshiba desarrolla una nueva batería de litio-ion capaz de recargarse en un solo minuto gracias al uso de la nanotecnología*, 01/04/2013. Recuperado de <https://www.toshiba.es/innovation/jsp/news.do?service=ES&year=NONE&ID=000000590b>

- United States Geological Survey (2012). *Lithium use in batteries*. Elaborado por Gooman, T. Recuperado de www.usgs.gov
- (2015). Lithium Statistics. In *Mineral Commodity Summaries*. Recuperado de www.usgs.gov
- Vicepresidencia del Estado Plurinacional de Bolivia (2015, 20 de abril). *Nota de Prensa*. Recuperado de <http://www.vicepresidencia.gob.bo/Autoridades-inspeccionaron-el>
- YAKSIC, A. (2008), *Análisis de la disponibilidad de litio en el largo plazo*. Tesis para obtener el grado de Magíster en Ingeniería, Escuela de Ingeniería. Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile.
- , Tilton, J. (2009). Using the cumulative availability curve to assess the threat of mineral depletion: the case of lithium. *Resources Policy*, 34. 185-194.

Investigación, desarrollo y producción de nanotecnologías en Costa Rica: el caso MIPYME y Lanotec

José Roberto Vega-Baudrit*
Santiago Nuñez-Corrales**

Introducción

Este capítulo desarrolla la experiencia que ha tenido el Laboratorio Nacional de Nanotecnología (Lanotec) del Centro Nacional de Alta Tecnología (CENAT), que pertenece al Consejo Nacional de Rectores Conare, en el impulso y creación de empresas con fondos MIPYMES del Consejo Nacional para la Investigación en Ciencia y Tecnología (Conicit) basadas, de forma parcial o totalmente, en nanotecnologías. Se incluyen datos de las empresas que han trabajado bajo el programa de innovación en el Lanotec. El alcance de los resultados obtenidos hasta el momento son nacionales y de gran relevancia para el desarrollo del país, cuya economía en la actualidad está fuertemente fundamentada en servicios, agroindustria y, en menor medida, en el sector de la electrónica. Las empresas creadas o impulsadas a través del programa de innovación del Lanotec son todas de capital costarricense, y pioneras en el campo de la nanotecnología nacional. Estamos convencidos de que la economía de un país está sustentada en la implementación de pequeñas empresas que producen materiales y objetos de alto valor agregado, más que en grandes empresas transnacionales maquiladoras.

La nanotecnología y la nanociencia han iniciado un camino vertiginoso, desde las fases de investigación básica y aplicada, hasta el diseño y la comercialización de productos hacia diferentes segmentos de mercado. Es posible afirmar que dentro de la curva de adopción tecnológica, la nanotecnología se acerca a pasos firmes a una masificación apoyada por estrategias de mer-

*Laboratorio Nacional de Nanotecnología del CENAT, San José, Costa Rica.

**Laboratorio Nacional de Nanotecnología del CENAT, Dirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones, San José, Costa Rica.

cadeo específicas para el sector (Tsuzuki, 2013: 43). La diversidad de enfoques y necesidades, desde medicina (Morigi *et al.*, 2012) hasta tecnología de alimentos (Duncan, 2011: 1), ha mostrado no solamente nichos abiertos, sino la posibilidad de transformar uno a uno, segmentos industriales por completo. Considerada una tecnología disruptiva, existe reconocimiento público de la necesidad de orientar las actividades de investigación, desarrollo e innovación hacia el bienestar público (Roco y Brainbridge, 2005: 1), lo que implica la instauración de esfuerzos, instrumentos y mecanismos que permitan controlar y asegurar la inocuidad de los nanoproductos (Asmatulu, 2013).

La evolución de las redes nacionales de investigación académica y su posterior transferencia tecnológica a la industria en la nanotecnología tiene varias particularidades (Miller *et al.*, 2004). En primera instancia, sus resultados son fácilmente traducibles a impactos socialmente relevantes y cuya adopción se apropia de los sistemas tecnológicos actuales (Currall, 2009: 79). En segundo lugar, existen esfuerzos importantes para disminuir la barrera de entrada que afecta el potencial de desarrollo de nuevos participantes, y que buscan resolver asimetrías de propiedad intelectual en etapas fundamentales (Halluin y Westin, 2004: 220). En tercer y último lugar, las redes en nanotecnología constituyen un caso paradigmático de redes sociales de alto crecimiento y capacidad (Zhang *et al.*, 2010: 964), que posteriormente tienden a convertirse en redes de innovación (Rampersad *et al.*, 2010: 793).

Este capítulo describe de manera detallada la evolución de la nanotecnología en Costa Rica desde la perspectiva del Lanotec. Se efectúa una revisión de las tendencias de mercado actuales en la dinámica económica mundial, seguido de su contextualización dentro de una economía emergente y sus oportunidades. Posteriormente se discute en detalle el rol de las políticas públicas en Costa Rica y su interacción con las comunidades académicas e industriales. La evolución del Lanotec y su relación con otros actores para potenciar el desarrollo de capacidades, se utiliza para identificar más adelante los patrones hacia el diseño, registro y licenciamiento futuro de nuevos nanoproductos. Finalizamos este capítulo con algunas lecciones aprendidas que consideran la realidad latinoamericana y las necesidades de crecimiento inclusivo de la región.

Nanotecnología y economías emergentes

Las tecnologías convergentes (bio, info, nano, cogno), a diferencia de sus contrapartes tradicionales, son altamente disruptivas, tanto en su dinámica de desarrollo como en sus efectos sobre la sociedad de manera más amplia

(Grunwald, 2007: 380). Cuentan con una estructura de conocimiento capaz de crear conexiones entre ellas, de aprovechar el conocimiento existente para catapultar nuevas áreas de investigación y aplicación y —en esencia— tienen el potencial de redefinir de forma significativa el estilo y naturaleza de la vida cotidiana; en resumen, de crear un nuevo mundo centrado en el uso de información a todas las escalas (Loveridge *et al.*, 2008: 29). De manera específica, uno de los mayores impactos de la nanotecnología con relación directa en el mercado, es en mejoras a la productividad en varias dimensiones: menor cantidad de desechos industriales, tiempos de fabricación más cortos, mejoría en las propiedades estructurales, mayor durabilidad y control sobre las propiedades funcionales (Roco y Bainbridge, 2003). En efecto, constituye la siguiente revolución industrial, o en términos actuales, una revolución productiva (Swierstra *et al.*, 2009: 213) que ocurre de manera silenciosa pero efectiva (Andersen, 2011: 680).

Desarrollar nanotecnología en el contexto de las economías internacionales ha generado debates alrededor de sus posibles regulaciones y organización, es decir, alrededor de *frameworks* de gobernanza (Roco, 2008: 11). En específico, dentro de los marcos de gobernanza se prioriza como un gran objetivo garantizar acceso al conocimiento de forma abierta a nivel internacional, llevar a tono a los países emergentes hasta alcanzar una competencia científica mínima que facilite la implementación de estándares globales y sobre todo, un imperativo ético de difundir los beneficios y conocer rigurosamente los riesgos derivados del desarrollo de nanoprodutos (Kjøllberg *et al.*, 2008: 83). Lograr un nivel de competencia tecnológica debe estar complementado con el desarrollo de capacidades sociales que lleven al estudio del impacto posible —tanto positivo como negativo— mediante técnicas prospectivas con fines anticipatorios (Doorn y Rip, 2006: 28). La imagen pública de los beneficios de la nanotecnología (y de las tecnologías convergentes en general) depende en buena medida de la transparencia con la que la relación I+D+i pueda ser transmitida al público no experto (Sheufele Lewenstein, 2005: 659).

Poder establecer de manera exitosa una cadena de valor, especialmente aquellas basadas en tecnologías de alto impacto, es más complejo en una economía emergente (Hoskisson *et al.*, 2000: 249), pero conlleva una oportunidad mayor con repercusiones en el mediano y largo plazo si la estrategia apropiada se identifica y nutre de forma sostenida (Tolfree y Jackson, 2007). En esencia, la pregunta central que debe responderse de manera práctica hacia una alternativa positiva, es si la nanotecnología incrementará las disparidades o las reducirá (Invernizzi y Foladori, 2005: 294).

Hay varios puntos que facilitan la adopción de la nanotecnología como parte de la visión económica de crecimiento actual y futuro de un país:

- a) Existe un contexto internacional de identificación de problemas abiertos y oportunidades de negocio en constante crecimiento (Radovic-Moreno *et al.*, 2011: 102).
- b) La naturaleza de los problemas prácticos que son accesibles al desarrollar nanotecnología, hace que aún dentro de las economías emergentes, sea rentable replicar, desarrollar y escalar productos con propósito específico (Morganti, 2013: 137).
- c) Los resultados de la innovación mediante nanoprodutos son tangibles para la sociedad, lo que incrementa su visibilidad y posibilidades futuras de financiamiento por vías gubernamentales o industriales (Radovic-Moreno *et al.*, 2011: 102).
- d) Las redes de colaboración internacional están ávidas de encontrar problemas de investigación y desarrollo interesantes que puedan ser traducidos a principios generales o tecnologías cuya aplicación sea globalmente relevante (Jacobs y Vries, 2013: 35).

América Latina exhibe tanto grandes disparidades como oportunidades en el aprovechamiento de la nanotecnología (Foladori e Invernizzi, 2013: 35), originadas por factores de escala, condiciones de endogenización de la ciencia y la tecnología, madurez del sistema de innovación propio de cada país y grado de cooperación científica. Una de las experiencias positivas y ejemplares en cuanto a manejo de ventajas y oportunidades, lo constituye el caso de Brasil, donde la nanotecnología está directamente vinculada a las estrategias nacionales de competitividad (Fonseca y Pereira, 2014: 16). Sin embargo, las carencias en modelos sostenibles de desarrollo de la nanotecnología y su orientación al mercado se originan principalmente en la prevalencia de retos conceptuales, regulatorios e industriales no atendidos (Foladori, 2006: 205).

¿Qué alternativas viables pueden permitir a América Latina incursionar en mercados de avanzada con nanoprodutos? El enfoque que cuenta con más éxito probable es aquél que enfoca la creación de competencias y la focalización de recursos hacia tres grandes objetivos: excelencia en ciencia y tecnología (Rushton *et al.*, 2009), dinamismo tecnológico e inclusión social (Pérez, 2008), y aprovechamiento de recursos locales únicos (Iizuka y Soete, 2011).

Costa Rica: política pública y nanotecnología

Existe amplio consenso acerca del papel esencial del desarrollo de una política pública en nanotecnología para regular sus posibles efectos negativos y potenciar aquellos que son positivos (Saxton, 2011: 387). En particular, aquellas políticas que faciliten el desarrollo de nuevas empresas y emprendimientos de base científico-tecnológica, son de interés preferencial y deben estar acopladas con ejercicios de prospectiva de mediano plazo (Woolley y Rottner, 2008: 791). El equilibrio en el desarrollo de tales instrumentos normativos debe asegurar la representación adecuada de los diferentes sectores involucrados en las fases de creación de conocimiento y valor (Bosso y Rodrigues, 2007: 366). La legitimidad del proceso anterior es clave no sólo para un avance progresivo de las iniciativas en países con diversas limitaciones, sino para establecer alianzas fuertes donde haya compromisos de recursos e inversión (Russell, 2013: 566).

En esencia, la pregunta que debe atacarse es ¿cómo crear sistemas de innovación en nanotecnología con la capacidad suficiente de convertir preguntas de investigación en productos rápida y responsablemente? (Miyazaki e Islam, 2007: 661). La realidad latinoamericana preconditiona el desarrollo y la articulación de iniciativas nacionales al incidir también en otros aspectos del fortalecimiento de las capacidades científicas y tecnológicas en cada país (Maclurcan, 2005: 1), llevando a diversas particularidades o irregularidades desde la perspectiva de sistemas económicos con mayor madurez (Foladori *et al.*, 2012: 88); omisiones en ese sentido suelen traducirse en el corto y mediano plazo en fallas de mercado donde no es posible satisfacer alguno de los requerimientos, desde investigación hasta comercialización internacional (Peres, 2013: 23). Adicionalmente, debe existir un contexto institucional capaz de apoyar el avance de las iniciativas establecidas desde distintos frentes (Melo y Rodríguez, 2007: 317) y establecer puntos de partida que se superpongan a omisiones o errores que han sido cometidos en el pasado por las economías más avanzadas (Iizuka y Soete, 2011).

En materia de evaluación de la efectividad de las políticas públicas en nanotecnología, deben existir esfuerzos que permitan a la percepción pública acerca de los efectos de aproximarse a los marcos de monitoreo y seguimiento (Soltani *et al.*, 2011: 7303). Lo anterior es crucial para garantizar una apropiada dimensión a las estimaciones de valor público de los bienes y servicios derivados de la investigación y el desarrollo de estas tecnologías convergentes (Bozeman y Sarewitz, 2011: 1). Si bien estas evaluaciones son retadoras gracias a la multifactorialidad del impacto potencial de la nanotecnología en todas las áreas de la vida cotidiana (Fisher, 2005: 321), son ineludibles al

caracterizar sus resultados en las facetas más críticas de la resolución de conflictos en el ámbito humano (Hunt y Mehta, 2013).

Costa Rica ha avanzado en el establecimiento de sus políticas de nanotecnología y nanociencia de la mano con los actores académicos e industriales relevantes. En primera instancia, el ejercicio de visión de largo plazo, denominado Estrategia Siglo XXI de 2006, estableció con claridad la importancia de las tecnologías convergentes, en particular de la nanotecnología (XXI, P.E.S., 2006). Este ejercicio ha influenciado los Planes Nacionales de Ciencia, Tecnología e Innovación de dos administraciones consecutivas 2011-2014 (MICITT, 2011) y 2015-2021 (MICITT, 2015), así como un reciente ejercicio de prospectiva en ciencia, tecnología e innovación (CTI) hacia el 2021 (MICITT, 2014). Además, existe una iniciativa nacional para consolidar una Política Nacional de Nanociencia y Nanotecnología (PNNN) que sea sostenible y en consonancia con las aspiraciones ambientales, industriales y sociales del país (Vega-Baudrit *et al.*, 2012).

A partir de estos ejercicios de política, es claro que el rol de la industria y de las MIPYME, es central a la economía nacional. La mayor parte de las empresas costarricenses (cerca al 95 por ciento) son pequeñas y medianas (PYME), y una proporción importante son MIPYME (Monge-González *et al.*, 2011), donde las empresas de manufactura son aproximadamente un 8 por ciento de todas las firmas registradas. Aparte de las implicaciones de estos valores acerca de las limitaciones en política pública y financiamiento para apoyar empresas que produzcan bienes o servicios de alto valor agregado (Monge-González *et al.*, 2010), es posible observar un cambio en las tendencias hacia menor aversión al riesgo y mejores niveles de inversión privada proactiva, debida en su mayoría a la necesidad de expandir nichos de mercado (Kreiser *et al.*, 2010: 959). Además, la evidencia reciente muestra un incremento en el desarrollo interno o la tendencia a vincularse para fines de investigación y desarrollo con el objeto de negocio, aun cuando sea incipiente (Dickson *et al.*, 2006: 487). Tales encadenamientos trascienden el aspecto de I+D+i como muestra una larga trayectoria de relaciones entre proveedores locales y transnacionales (Monge-González y Rodríguez-Álvarez, 2013), así como el nacimiento de clústeres productivos (Altenburg y Meyer-Stamer, 1999: 1693).

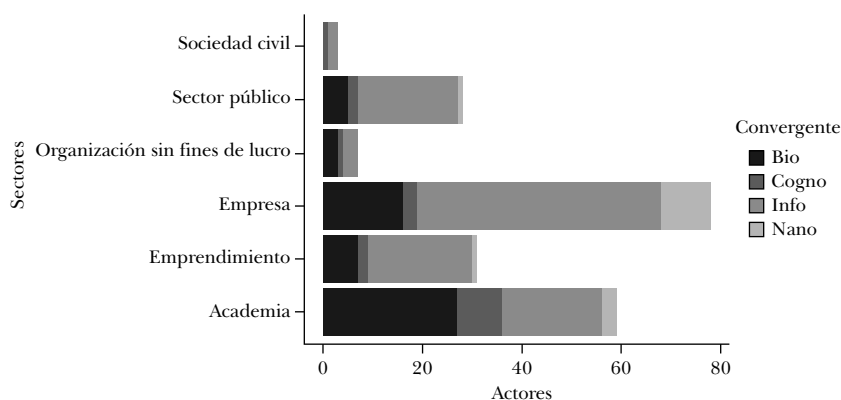
En materia de creación de nuevas empresas, hay indicios de un clima de inversión más favorable (Spencer y Gómez, 2002). El incremento del capital ángel, la aparición de *venture capital* propio en Costa Rica y una mayor propensión a diseñar productos para mercados internacionales con enfoque en

bajos costos (Aguilar y Elizondo, 2009) señalan una transición (Reinhardt *et al.*, 2000: 1543) hacia una fase de madurez del ecosistema de innovación (Peres y Stumpo, 2000: 1643) con más empresas pequeñas que generan valor agregado (Kantis *et al.*, 2002); no obstante, la velocidad de esta última es lenta en comparación con las economías representadas en la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) dentro del contexto de tratados de libre comercio (Baraya *et al.*, 2011).

Para el caso costarricense, el estudio mediante sondeo del PNCTI 2015-2021 mostró dos datos relevantes a la nanotecnología. Aun cuando la comunidad de investigación nacional está en fase de maduración, existe una cantidad importante de académicos cuya investigación está centrada en nanotecnología. Más significativo es el caso del sector empresarial que, si bien no necesariamente genera nanoprodutos, sí evidencia cercanía y requerimientos alrededor de la nanotecnología. Excepto en el caso de la sociedad civil, todos los sectores presentan influencia de la nanotecnología (véase gráfica 1).

Gráfica 1

DISTRIBUCIÓN DE ACTORES QUE INDICARON EFECTUAR INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS CONVERGENTES EN COSTA RICA POR SECTOR



Nota: Realizado con base en el sondeo efectuado entre octubre de 2014 y enero de 2015 para la construcción del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2015-2021. El ejercicio de consulta incluye a 1,306 respuestas distintas donde la información presentada en la gráfica fue seleccionada posterior a un proceso de curación de datos donde se determinó la diferencia entre afiliación simple (por ejemplo nanotecnología *versus* ciencia y tecnología de materiales) y afiliación directa a las tecnologías convergentes (*i.e.* investigación y desarrollo de tecnología). Salvo en los casos de la sociedad civil y organizaciones sin fines de lucro donde las respuestas no fueron suficientes para obtener inferencias válidas, se observa presencia de la nanotecnología en los sectores con mayor frecuencia de respuesta.

Lanotec: aparición y desarrollo de capacidades nacionales

En los últimos 10 años, Costa Rica se ha sumado a la tendencia mundial de un acercamiento cada vez mayor entre el sector productivo —desde las corporaciones multinacionales hasta la pequeña y microempresa—, el sector gubernamental, y el sector académico, éste como eje impulsor de la investigación y conocimiento. Una mayor y más profunda colaboración entre estos sectores implica un mejor y mayor desarrollo del país. Se han instalado en el país empresas transnacionales de alta tecnología, tales como Intel, Baxter y Abbot, entre otras, en gran parte debido al alto nivel de desarrollo tecnológico que se manifiesta en el nuevo índice introducido para el año 2001 por el Reporte de Desarrollo Humano de las Naciones Unidas, donde Costa Rica aparece en el grupo de “Líderes Potenciales”.

El reconocimiento de la calidad del capital humano existente y de las condiciones políticas, sociales y económicas, ponen a Costa Rica en una posición ventajosa para atracción de capital en el área. Estas empresas dirigen sus esfuerzos cada vez más para pasar de ser empresas de manufactura a empresas que incursionen en la investigación y desarrollo para contribuir a la solución concreta de problemas específicos para la mejora continua de sus productos que respondan a las cambiantes necesidades técnicas y de mercado. En este sentido se puede aprovechar esta dinámica que si se realiza de manera coordinada, llevará a más oportunidades y creación de empleo y a encadenamientos con el resto de la economía. Dentro de este contexto se concretó, hace más de 10 años, la creación del CENAT, el cual es un órgano interuniversitario especializado en el desarrollo de investigaciones y posgrados en áreas de alta tecnología y de proyectos de vinculación e innovación tecnológica con el sector gubernamental y empresarial. El CENAT fue creado al amparo del Convenio de Coordinación de la Educación Superior Universitaria Estatal, en la sesión del Conare, número 5-99, del 2 de marzo de 1999. Los rectores de las cuatro universidades públicas de Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Nacional y Universidad Estatal a Distancia integran dicho Consejo.

El objetivo primordial del CENAT es ejecutar actividades de capacitación, de investigación y servicios en ciencia y tecnología en varias áreas estratégicas y programas que permitan proveer al país de la tecnología pertinente para un desarrollo competitivo de los diferentes sectores de la sociedad en el ámbito económico, social y ambiental. Dentro de esas áreas se incluye al Área de Ciencia e Ingeniería de los Materiales y miniaturización de senso-

res. Dentro de esta área, y con el apoyo de diversos sectores del país, el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT), el Conare, el CeNAT y la Industria de Alta Tecnología, así como de instituciones internacionales como la NASA, el 31 de agosto del año 2004, se inauguró el Lanotec e inició labores de investigación el 18 de octubre del mismo año.

El Lanotec fortaleció al país brindándole la capacidad de ser el líder tecnológico en la región centroamericana y del Caribe, con ingeniería de punta en el estudio de materiales avanzados para la investigación, diseño y entrenamiento en tecnologías asociadas a la microtecnología, nanotecnología y ciencia de los materiales. Permite además, ampliar el desarrollo de conocimiento y colaborar con formación de capital humano, la investigación científica en esta área, y contribuye a desarrollar aplicaciones específicas para el sector productivo en diferentes tipos de industrias como la metalúrgica, la de los materiales, la de los polímeros, para la microbiología, la medicina, la geofísica y la exploración espacial y nanoarte, entre otras. Estos conocimientos y futuras innovaciones en diversas aplicaciones tienen un gran potencial comercial y de desarrollo económico para el país y sus colaboradores.

El Lanotec cuenta con cerca de 400 m² de espacio para distribuir entre oficinas, cuartos de laboratorio y un cuarto limpio clase 100, el cual posee un equipo de producción de nanotubos de carbono (NTC) y microsensores, y un microscopio de fuerza atómica (AFM) marca Asylum Research, microscopio óptico que permite realizar estudios de birefringencia, y luz polarizada, goniómetro para el estudio de ángulo de contacto y tensión superficial, calorímetro diferencial de barrido DSC, analizador termogravimétrico TGA-DTGA, analizador espectroscópico de infrarrojo FTIR con ATR de marca Thermo (Nicolet) con un rango de 200 a 14 000 cm⁻¹, sistema de acoplamiento del TGA-DTGA con el FTIR-ATR para el estudio cinético de degradación de materiales, equipos de cromatografía: HPLC, GPC, GC marca Thermo, tensiómetro para sólidos y líquidos, analizador de contenido de agua (Karl-Fischer), nanocalorímetro con titulación de la marca TA instruments, reómetro-DMAT, microscopio electrónico de transmisión con EDS y DRX (JEOL 2010) donado por la empresa INTEL, equipo básico de laboratorio para análisis químico, sonicator, ultrasonido, ultramix, rotaevaporadores, pH-metro, conductímetro, soldadora eléctrica, termómetros, ánodos y cátodos, y analizadores para realizar viscosimetría, entre otros.

Asimismo, el país cuenta con centros de investigación dentro de las universidades públicas que realizan trabajos en nanotecnología. En el caso de

la Universidad de Costa Rica: el Centro de Investigaciones en Ciencia e Ingeniería de Materiales (Cicima), el Laboratorio de Química Supramolecular de la Escuela de Química., Escuela de Física, Escuela de Ingeniería Mecánica, Escuela de Geología, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Laname), Laboratorio Costarricense de Metrología (Lacomet), Centro de Investigaciones en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (Cicanun), Escuela de Biología, Centro de Investigaciones en Biología Molecular y Celular (CIBCM), Centro de Investigación en Microscopía Electrónica (Ciemic), Instituto de Investigaciones Farmacéuticas (Inifar), Laboratorio de Fotónica y Tecnología Láser Aplicada (Laftla), Instituto de Investigaciones en Ingeniería (INII), entre otros. Asimismo, existe una red de trabajo interna denominada PICIMA. En el caso del Instituto Tecnológico de Costa Rica, se incluye a la Escuela de Ciencias e Ingeniería de Materiales, la Escuela de Química, la Escuela de Biotecnología, el Laboratorio de Espectrometría y Difractometría de rayos X, el Laboratorio de Control No Destructivo, el Laboratorio de Moldeo y de Fundición, el Laboratorio de Corrosión y Protección de Materiales, y existe un módulo de Nanotecnología con equipos para realizar docencia e investigación en el área.

En la Universidad Nacional se incluyen al Laboratorio de Polímeros (POLIUNA), al Laboratorio de Materiales Industriales (Lami), la Escuela de Química, el Departamento de Física, y la Escuela de Biología. Asimismo, las Escuelas de Matemática e Informática, han manifestado, a través del Programa de Nanotecnología de la UNA, gestado en coordinación con el Lanotec, su interés por participar en proyectos que incluyan modelado y simulación de materiales y procesos. Asimismo, existe una red de trabajo en nanotecnología denominada RED NanoUNA. Finalmente, la UNED tiene proyecto en conjunto con las demás universidades estatales a través de el Conare y los Fondos FEES.

MIPYMES Nano: del laboratorio al mercado

La evolución del Lanotec ha llevado a un modelo de apoyo a la industria y generación de nuevos negocios, un fenómeno conocido dentro del ámbito de la nanotecnología (Woolley y Rottner, 2008: 791). A través del establecimiento de CreaTEC en el CENAT, un espacio para innovación e incubación de nuevas iniciativas, ha sido posible iniciar proyectos de emprendimiento en distintas áreas, desde biocombustibles hasta microelectrónica para electrónica de consumo. Dentro de los esfuerzos, es meritorio destacar que las

invenciones particulares que se han gestado en el laboratorio tienen un gran potencial de incrementar rápidamente su financiamiento, aprovechar recursos nacionales para emprendimientos, e introducirse en nuevos mercados internacionales, parte de los grandes objetivos que las tecnologías convergentes han logrado alcanzar (Thukral *et al.*, 2008: 101). Un factor catalizador es la naturaleza público-privada de la Fundación Centro de Alta Tecnología que, dentro del marco operativo de las universidades públicas costarricenses, ha permitido ejemplificar una buena práctica internacional en desarrollo y gobernanza de tecnologías (Zhang, 2005: 3) y se considera esencial para acelerar procesos de innovación en tecnologías emergentes (Roco *et al.*, 2011).

Existe una consideración adicional que se ha tomado en cuenta para el proceso de creación y posterior gestión de cada uno de los proyectos. La propiedad intelectual, integrada dentro del proceso de investigación y desarrollo de nanoproducidos, es un factor esencial para determinar rápidamente la pertinencia de las invenciones en el mercado internacional (Halluin y Westi, 2004: 220). Si bien la protección temprana del valor de mercado en las ubicaciones geográficas pertinentes es indispensable para potenciar el licenciamiento de nanotecnologías (Paull *et al.*, 2003: 1144), una de sus funciones más valiosas es delinear las posibilidades de licenciamiento y, por ende, de transformar estos esfuerzos de alto valor agregado en capital con beneficio para todas las partes involucradas (Alikhan y Mashelkar, 2004). Esto incluye discutir la adecuación de los modelos disponibles de propiedad intelectual para cada producto en específico (Murray y Stern, 2007: 648) y mantener claridad acerca de cómo se expanden las fronteras en distintos frentes teóricos y prácticos abiertos en la materia (Tullis, 2012: 189). Tomar seriamente la dinámica de producción de tecnologías de frontera —en especial de tecnologías convergentes— puede marcar la diferencia entre convertirnos en líderes o mantenernos como seguidores en el mercado internacional (Reichman, 2009: 1115). En ese sentido, Lanotec ha iniciado un intenso proceso alrededor de la propiedad intelectual y cuenta con dos patentes.

Conclusiones

El poder generar emprendimientos y nuevos negocios, especialmente MIPYME, es una de las estrategias que los países están llamados a adoptar para favorecer el desarrollo de una sociedad y economía basadas en el conocimiento. El caso de Lanotec es paradigmático en poder demostrar de forma práctica

que la existencia de una institución científica y tecnológica que provea liderazgo puede reducir el riesgo de inversión de otros actores y abrir nuevas oportunidades dentro de un ambiente simultáneamente habilitador e intelectualmente libre. De manera adicional, mantener ese liderazgo no solamente debe ocurrir mediante iniciativas centradas exclusivamente en la innovación, sino en mantener excelencia y productividad constante dentro de las actividades de investigación básica y aplicada (Miyazaki e Islam, 2007: 661).

Fuentes consultadas

- AGUILAR, J. & Elizondo, M. (2009). *Competitiveness Based on Low Production Costs or on High Specialization and Productivity: The Case of SMEs in Costa Rica*. High Technology, Productivity and Networks: A Systemic Approach to SME Development.
- ALIKHAN, S. & Mashelkar, R. A. (2004). *Intellectual property and competitive strategies in the 21st century*. Kluwer Law International.
- ALTENBURG, T. & Meyer-Stamer, J. (1999). How to promote clusters: policy experiences from Latin America. *World development*, 27(9), 1693-1713.
- ANDERSEN, M. M. (2011). Silent innovation: corporate strategizing in early nanotechnology evolution. *The Journal of Technology Transfer*, 36(6), 680-696.
- ASMATULU, R. (Ed.). (2013). *Nanotechnology Safety*. Newness. Capítulo 2. Fundamentals of Safety, US, Elsevier.
- BARAYA, A. R., Budden, M. C. & Bonilla, L. B. (2011). Strategic role, challenges and opportunities for small and medium enterprises facing DR-CAFTA: The Case of Costa Rica. *International Business & Economics Research Journal (IBER)*, 6(7).
- BOSSO, C. & Rodrigues, R. (2007). Organizing around Emerging Issues: Interest Groups and the Making of Nanotechnology Policy. *Interest Group Politics*, 366-88.
- BOZEMAN, B. & Sarewitz, D. (2011). *Public value mapping and science policy evaluation*. *Minerva*, 49(1), 1-23.
- CURRALL, S. C. (2009). *Nanotechnology and society: New insights into public perceptions*. *Nature Nanotechnology*, 4(2), 79.
- DICKSON, P. H., Weaver, K. M. & Hoy, F. (2006). Opportunism in the R&D alliances of SMEs: The roles of the institutional environment and SME size. *Journal of Business Venturing*, 21(4), 487-513.
- DOORN, M. & Rip, A. (2006). *Anticipating the Dynamics of Converging Technologies*. *Converging Technologies*, 28.

- DUNCAN, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of colloid and interface science*, 363(1), 1-24.
- FISHER, E. (2005). Lessons learned from the Ethical, Legal and Social Implications program (ELSI): Planning societal implications research for the National Nanotechnology Program. *Technology in Society*, 27(3), 321-328.
- FOLADORI, G. (2006). Nanotechnology in Latin America at the crossroads. *Nanotech. L. & Bus.*, 3, 205.
- FOLADORI, G. y Invernizzi, N. (2013). Inequality gaps in nanotechnology development in Latin America. *Journal of Arts and Humanities*, 2(3), 35-45.
- FOLADORI, G., Figueroa, S., Zayago, E. & Invernizzi, N. (2012). Nanotechnology: Distinctive Features in Latin America. *Nanotech. L. & Bus.*, 9, 88.
- FONSECA, P. F. & Pereira, T. S. (2014). The governance of nanotechnology in the Brazilian context: Entangling approaches. *Technology in Society*, 37, 16-27.
- GRUNWALD, A. (2007). Converging technologies: *Visions, increased contingencies of the condition human, and search for orientation*. *Futures*, 39(4), 380-392.
- HALLUIN, A. P. & Westin, L. P. (2004). Nanotechnology: the importance of intellectual property rights in an emerging technology. *J. Pat. & Trademark Off. Soc'y*, 86, 220.
- HOSKISSON, R. E., Eden, L., Lau, C. M. & Wright, M. (2000). Strategy in emerging economies. *Academy of management journal*, 43(3), 249-267.
- HUNT, G. & Mehta, M. (Eds.). (2013). *Nanotechnology: "Risk, Ethics and Law"*. Routledge.
- IZUKA, M. y Soete, L. (n.d.). Catching up in the 21st century: Globalization, knowledge & capabilities in Latin America, a case for natural resource based activities. In *Learning, Capability Building and Innovation for Development*. UK: Palgrave Macmillan.
- INVERNIZZI, N. y Foladori, G. (2005). Nanotechnology and the developing world: *Nanotechnology Law & Business Journal*, 2(3).
- JACOBS, U. & de Vries, M. (2013). Design for Values in Nanotechnology. In J. van den Hoven, P. E. Vermaas and I. van de Poel (Eds.), *Handbook of Ethics, Values, and Technological Design* (pp. 1-19). Dordrecht: Springer Netherlands. Retrieved from http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-6994-6_29-3
- KANTIS, H., Ishida, M. & Komori, M. (2002). *Entrepreneurship in emerging economies: The creation and development of new firms in Latin America and East Asia*. Inter-American Development Bank.

- KJØLBERG, K., Delgado-Ramos, G. C., Wickson, F. y Strand, R. (2008). *Models of governance for converging technologies. Technology Analysis & Strategic Management*, 20(1), 83-97.
- KREISER, P. M., Marino, L. D., Dickson, P. y Weaver, K. M. (2010). Cultural influences on entrepreneurial orientation: The impact of national culture on risk taking and proactiveness in SMEs. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 34(5), 959-983.
- LOVERIDGE, D., Dewick, P. & Randles, S. (2008). *Converging technologies at the nanoscale: The making of a new world?. Technology Analysis & Strategic Management*, 20(1), 29-43.
- MACLURCAN, D. (2005). Nanotechnology and Developing Countries-Part 2: What Realities?. *Online Journal of Nanotechnology*, 1.
- MELO, A. & Rodríguez-Clare, A. (2007). Productive development policies and supporting institutions in Latin America and the Caribbean. *The State of State Reform in Latin America*, 317-354.
- MICITT (2011). *Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación 2011-2014*. San José, Costa Rica: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones.
- MICITT (2014). *Ruta 2021: Conocimiento e Innovación para la Competitividad, Prosperidad y Bienestar*. San José, Costa Rica: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones.
- MICITT (2015). *Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación 2015-2021: Imaginar el Mañana, Construirlo Hoy*. San José, Costa Rica: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones.
- MILLER, J. C., Serrato, R., Represas-Cardenas, J. M. & Kundahl, G. (2004). *The handbook of nanotechnology: Business, policy, and intellectual property law*. New York: John Wiley & Sons.
- MIYAZAKI, K. & Islam, N. (2007). Nanotechnology systems of innovation—An analysis of industry and academia research activities. *Technovation*, 27(11), 661-675.
- MONGE-GONZALEZ, R. & Rodriguez-Alvarez, J. A. (2013, December). Impact evaluation of innovation and linkage development programs in Costa Rica: The cases of Propyme and CR Provee. Inter American Development Bank.
- MONGE-GONZÁLEZ, R., Rodríguez-Álvarez, J. A., Hewitt, J., Orozco, J. & Ruiz, K. (2011). *Innovation and employment growth in Costa Rica: a firm-level analysis*. Inter-American Development Bank. Inter American Development Bank.

- MONGE-GONZÁLEZ, R., Rivera Batiz, L. & Rosales-Tijerino, J. (2010). Productive Development Policies in Costa Rica: Market Failures, Government Failures, IDB Working Paper.
- MORGANTI, P. (2013). Innovation, nanotechnology and industrial sustainability by the use of natural underutilized byproducts. *Journal of Molecular Biochemistry*, 2(3), 137-141.
- MORIGI, V., Tocchio, A., Bellavite Pellegrini, C., Sakamoto, J. H., Arnone, M. & Tasciotti, E. (2012). Nanotechnology in medicine: From inception to market domination. *Journal of drug delivery*, 2012.
- MURRAY, F. & Stern, S. (2007). Do formal intellectual property rights hinder the free flow of scientific knowledge?: An empirical test of the anti-commons hypothesis. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 63(4), 648-687.
- PAULL, R., Wolfe, J., Hébert, P. & Sinkula, M. (2003). *Investing in nanotechnology*. *Nature biotechnology*, 21(10), 1144-1147.
- PERES, W. (2013). *Industrial Policies in Latin America. Pathways to Industrialization in the Twenty-First Century: New Challenges and Emerging Paradigms*, 223.
- PERES, W. & Stumpo, G. (2000). Small and medium-sized manufacturing enterprises in Latin America and the Caribbean under the new economic model. *World Development*, 28(9), 1643-1655.
- PEREZ, C. (2008). *A Vision for Latin America: a resource-based strategy for technological dynamism and social inclusion*. Globelics WP, No. WPG0804.
- RADOVIC-MORENO, A. F., Yuet, K. P., Langer, R. S. & Farokhzad, O. C. (2011). Perspectives on Nanotechnology. *Interventional Techniques in Uro-Oncology*, 102-117.
- RAMPERSAD, G., Quester, P. & Troshani, I. (2010). *Managing innovation networks: Exploratory evidence from ICT, biotechnology and nanotechnology networks*. *Industrial Marketing Management*, 39(5), 793-805.
- REICHMAN, J. H. (2009). Intellectual Property in the Twenty-First Century: Will the Developing Countries Lead or Follow?. *Houston law review/University of Houston*, 46(4), 1115.
- REINHARDT, N. & Peres, W. (2000). Latin America's new economic model: micro responses and economic restructuring. *World development*, 28(9), 1543-1566.
- ROCO, M. C. (2008). Possibilities for global governance of converging technologies. *Journal of Nanoparticle Research*, 10(1), 11-29.

- ROCO, M. C. & Bainbridge, W. S. (2003). *Overview Converging Technologies for Improving Human Performance*. In *Converging technologies for improving human performance* (pp. 1-27). Springer Netherlands.
- (2005). Societal implications of nanoscience and nanotechnology: Maximizing human benefit. *Journal of Nanoparticle Research*, 7(1), 1-13.
- ROCO, M. C., Mirkin, C. A. & Hersam, M. C. (2011). *Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: retrospective and outlook* (Vol. 1). Springer Science & Business Media.
- RUSHTON, M., Záyago, E. & Foladori, G. (2009). *Center of educational excellence in nanotechnology: the proposed World Bank scientific millennium initiatives and nanotechnology in Latin America*. *New Nanotechnology Developments*. Nova Publishers.
- RUSSELL, A. W. (2013). Improving legitimacy in nanotechnology policy development through stakeholder and community engagement: Forging new pathways. *Review of Policy Research*, 30(5), 566-587.
- SAXTON, J. (2011). Nanotechnology: The future is coming sooner than you think. *Nanotechnology research journal*, 4(3-4), 387-404.
- SCHEUFELE, D. A. & Lewenstein, B. V. (2005). The public and nanotechnology: How citizens make sense of emerging technologies. *Journal of Nanoparticle Research*, 7(6), 659-667.
- SOLTANI, A. M., Tabatabaeian, S. H., Hanafizadeh, P. & Soofi, J. B. (2011). An evaluation scheme for nanotechnology policies. *Journal of Nanoparticle Research*, 13(12), 7303-7312.
- SPENCER, J. W. & Gómez, C. (2002). *Can government policies promote entrepreneurship? Evidence from Costa Rica, Uruguay and Chile*. The Center for Latin American Issues. Working Paper Series, The George Washington University. Recuperado de http://www.gwu.edu/~clai/working_papers/Spencer_Jennifer_09-01.pdf [Consultado el 29 de marzo de 2012].
- SWIERSTRA, T., Boenink, M., Walhout, B. & Van Est, R. (2009). Converging technologies, shifting boundaries. *NanoEthics*, 3(3), 213-216.
- THUKRAL, I. S., Von Ehr, J., Walsh, S., Groen, A. J., Van Der Sijde, P. & Adham, K. A. (2008). Entrepreneurship, emerging technologies, emerging markets. *International Small Business Journal*, 26(1), 101-116.
- TOLFEE, D. & Jackson, M. J. (Eds.). (2007). *Commercializing micro-nanotechnology products*. CRC Press.
- TSUZUKI, T. (2013). *Nanotechnology Commercialization*. US, Florida, CRC Press, 43-61.
- TULLIS, T. K. (2012). Current intellectual property issues in nanotechnology. *Nanotechnology Reviews*, 1(2), 189-205.

- VÉGA-BAUDRIT, J., Núñez-Corrales, S. & Porras-Gómez, M. (2012) Sustainable Nanotechnology Policies for Innovation in Costa Rica. *J.Nanotech. Prog. Int. (JONPI)*, 3(2).
- WOOLLEY, J. L. & Rottner, R. M. (2008). Innovation policy and nanotechnology entrepreneurship. *Entrepreneurship theory and practice*, 32(5), 791-811.
- XXI, P. E. S. (2006). *Estrategia Siglo XXI: conocimiento e innovación hacia el 2050 en Costa Rica*. Vol. I. San José, Costa Rica: Fundación Costa Rica Estados Unidos de América para la cooperación.
- ZHANG, H., Qiu, B., Ivanova, K., Giles, C. L., Foley, H. C. & Yen, J. (2010). Locality and attachedness-based temporal social network growth dynamics analysis: A case study of evolving nanotechnology scientific collaboration networks. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(5), 964-977.
- ZHANG, X. (2005). Critical success factors for public-private partnerships in infrastructure development. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(1), 3-14.

La creación de condiciones para la I+D en nanotecnología: el Cinquifima de Uruguay

Adriana Chiancone*
Enrique Martínez Larrechea*

Introducción

Se analiza el Centro Interdisciplinario de Nanotecnología, Química y Física de Materiales (Cinquifima) de la Universidad de la República de Uruguay, un espacio “virtual”, en el que participan la mayoría de los más destacados investigadores uruguayos de ese campo del conocimiento. La labor de los científicos en el Cinquifima se orienta a la creación de capacidades locales y a la consolidación de las condiciones necesarias para realizar su investigación. En este trabajo se contextualiza el desarrollo del centro en el panorama nacional de la evolución de la nanotecnología, de la que el Cinquifima representa una etapa organizacional más. También se ubican los canales de financiamiento del mismo, en el conjunto nacional de los principales programas y organizaciones que hoy promueven las actividades de investigación, desarrollo, innovación y vinculación. Este estudio se basa en el análisis de documentos, presentaciones públicas de los investigadores, y entrevista al director del centro.

La primera definición política de la nanotecnología en Uruguay, y como área transversal prioritaria del Plan Estratégico Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, es de febrero de 2010, cuando dicho plan fue aprobado, después de un periodo de diseño y discusión de las bases y lineamientos (Gabinete Ministerial de la Innovación, 2007, 2009, 2010).

En el mes de junio de 2010 fue creado el Consejo Sectorial Tripartito de Bio y Nanotecnología como herramienta de articulación y de generación de insumos para la política sectorial. En 2012 se creó el Consejo Sectorial de

*Investigadores del Sistema Nacional de Investigadores de Uruguay (SNI-ANII). Instituto Universitario CLAEH.

Nanotecnología, habiéndose previamente separado del Consejo de Biotecnología; paralelamente existiría un Plan Industrial de Nanotecnología, en elaboración, con un lanzamiento previsto para 2015 (Pittaluga, 2015: 29).

Si bien no se ha definido hasta el momento una política pública específica para el financiamiento de la nanotecnología en Uruguay, en el último lustro han aumentado considerablemente las oportunidades de los investigadores en el país. Dado un reciente proyecto de ley de creación de un nuevo Sistema Nacional de Competitividad, enviado por el Poder Ejecutivo al Parlamento el 5 de marzo de 2015 (Presidencia de la República, 2015), y discusión “sobre cómo el Estado uruguayo promueve la ciencia y la tecnología”¹⁴ entre representantes de tres instituciones nacionales relacionadas con la investigación y desarrollo (I+D), se augura un cambio en las posibilidades de financiamiento del trabajo de los nanotecnólogos.

Los investigadores de las diferentes disciplinas se enfrentan en sus actividades de I+D a problemas complejos que trascienden los límites disciplinarios. La definición de los problemas a abordar responde más a demandas de diversos actores del sector político, productivo y social que a iniciativas internas de las comunidades de investigación: la I+D requiere la inclusión de “otras voces” (Salter y Hearn, 1996; Vessuri *et al.*, 2014) o “comunidades extendidas de pares” (Funtowicz y Ravetz, 2003) y la negociación de agendas, así como también el trabajo en armonía con las políticas públicas.

Es así que la aspiración a conceptualizar problemas complejos y contribuir a resolver cuestiones de relevancia social ha llevado a que el trabajo interdisciplinario como forma de organización de la producción de conocimiento, adquiera una creciente presencia en los ámbitos universitarios y en los discursos de distintas agencias (como por ejemplo, las responsables del financiamiento de I+D).

En el caso de la nanotecnología, como en otros nuevos campos de conocimiento, la complejidad requiere de la coordinación de actores y organizaciones a diferentes niveles, su interacción y la reutilización de los recursos (Vessuri, 2008: 30). Además, en el trabajo en la nanoescala, el equipamiento científico es especialmente relevante (Vinck, 2006; Fogelberg y Glimell, 2003).

Hemos elegido el Cinquifima, un programa del Espacio Interdisciplinario de la Universidad de la República, cuya vida se extiende desde el año 2009. En este centro “virtual”, en el sentido de deslocalización de capacida-

¹⁴“Crearán grupo interinstitucional para promover ciencia, tecnología e innovación”. Recuperado el 22 de abril de 2015 de <http://www.universidad.edu.uy/prensa/renderItem/itemId/37147>

des”, participan los investigadores uruguayos más productivos y de mayor visibilidad científica del campo.

Partimos del supuesto de que el Cincuifima no es sólo una nueva forma de organización de las capacidades de I+D locales, sino también una etapa más del proceso de construcción de oportunidades para la I+D en nanotecnología en el país. Buscamos caracterizar esta última fase organizacional de la nanotecnología en Uruguay, integrada a un centro que promueve la interdisciplinariedad.

Se comienza con la presentación del Cincuifima. Luego se describen los canales de financiamiento del Centro, contextualizados en el conjunto nacional de programas y organizaciones que promueven las actividades de investigación, innovación y vinculación. Por último se discuten las perspectivas. Este trabajo se basa en el análisis de documentos, presentaciones públicas de los investigadores, y entrevista al director del centro.

Organización de la nanotecnología en Uruguay y la creación del Cincuifima

En el año 2006 había quince investigadores en nanotecnología en Uruguay, y en el 2008 veintiocho (Gabinete Productivo, 2010: 22). En la actualidad existen 80 investigadores con dedicación total al trabajo en nanociencia y nanotecnologías (Benech, 2014).

La primera organización que reunía a los investigadores uruguayos que trabajaban en nanotecnología, fue el Grupo Nanotecnología Uruguay (G-Nanotec-Uy), creado en 2006 (VV.AA., 2013). Era un grupo multidisciplinario integrado por quince investigadores que pertenecían a equipos de diferentes laboratorios, en su mayoría de la Universidad de la República, o del Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable.

Una segunda organización en red, que vincula a 17 investigadores del campo —muchos de los cuales pertenecían a G-Nanotec-Uy— es el Cincuifima. Este centro fue fundado en el año 2009 como proyecto de trabajo por un periodo inicial de cinco años (y luego postergado a seis años y medio), elegido en una convocatoria del Espacio Interdisciplinario de la Universidad de la República (Udelar). Como lo expresa la presentación del programa para la creación de centros interdisciplinarios, éstos

Se articulan en torno a áreas-problema de clara relevancia nacional, que requieren de enfoques y prácticas disciplinarias diversas para su comprensión. Su trabajo debe plasmarse en actividades de enseñanza, investigación y extensión.²

²<http://www.ei.udelar.edu.uy/renderPage/index/pageId/888>

Además de la I+D realizada en el Cinquifima otros grupos trabajan en nanotecnología: en el Centro Universitario de la Regional Este de la Udelar, en la Universidad ORT, en el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU), en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y en el Instituto Pasteur de Montevideo.

El Cinquifima fue creado para consolidar las áreas de química y física de materiales y nanotecnología, por medio del esfuerzo coordinado de docentes de las facultades de Ciencias, Ingeniería, Odontología y Química (Espacio Interdisciplinario, 2011). También se integró un grupo del Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable perteneciente al Ministerio de Educación y Cultura en calidad de asociado. Estos investigadores son los líderes de distintos grupos de la Universidad de la República y del Instituto Clemente Estable. A continuación se presentan las diferentes unidades de cada institución, que participan en este programa (véase cuadro 1).

Cuadro 1

UNIDADES POR INSTITUCIÓN QUE PARTICIPAN EN EL CINQUIFIMA

| | |
|--|---|
| Facultad de Ciencias (Universidad de la República) | <ul style="list-style-type: none"> • Departamento de Física Aplicada y de Materiales-Instituto de Física • Laboratorio de Biomateriales-Instituto de Química Biológica • Laboratorio de Radiofarmacia-Centro de Investigaciones Nucleares |
| Facultad de Ingeniería (Universidad de la República) | <ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Caracterización Óptica-Grupo de Física del Estado Sólido-Instituto de Física |
| Facultad de Odontología (Universidad de la República) | <ul style="list-style-type: none"> • Cátedra de Fisiología Grupo de Investigación-Dolor Orofacial y Función Cráneo-mandíbula |
| Facultad de Química (Universidad de la República) | <ul style="list-style-type: none"> • Cátedra de Física-Laboratorio de Cristalografía-Centro NanoMat-Departamento de Experimentación y Teoría de la Estructura de la Materia y sus Aplicaciones (DETEMA) • Grupo de Química Inorgánica. Departamento Estrella Campos • Departamento de Química Orgánica |
| Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable (Ministerio de Educación y Cultura) | <ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Señalización Celular y Nanobiología |

Fuente: Elaboración a partir del sitio de Cinquifima.

En este Centro las áreas del conocimiento son la química supramolecular, la síntesis de precursores, los materiales y nanomateriales, la prepara-

ción a escala de los mismos, su estudio estructural y caracterización física, así como también la previsión de sus propiedades. Sus potenciales aplicaciones tienen lugar entre otros muchos, en dispositivos para la salud, y en la producción y almacenamiento de energía (Espacio Interdisciplinario, 2011).

La iniciativa considera a la nanotecnología como “la evolución más promisoría de la Ciencia y la Tecnología de Materiales, debido a las importantes aplicaciones que podrían originarse a partir de ellos” (Mombrú, 2012: 4). Además de su fuerte carácter interdisciplinario, “se trata de un área particular de la Química y Física de Materiales, de ciertos materiales particulares, pero materiales al fin” (Mombrú, 2012: 5).

La aspiración de los integrantes de este Centro era, según lo manifestaba su director en el año 2012, que “este momento y este movimiento sea visto dentro de unos años como la génesis de una comunidad nacional especializada en el estudio de materiales avanzados y que los frutos de estos esfuerzos se multipliquen en el futuro” (Mombrú, 2012: 10). Bajo este enfoque fue creada una propuesta de maestría interdisciplinaria en Nanociencia y Ciencia de Materiales, que se presentó en el año 2013 al Programa de Desarrollo de Ciencias Básicas (Pediciba); y se creó una comisión asesora para la elaboración del plan de estudios entre otros fines (Pediciba, 2013, 2014). Después de ser aceptada por el Pedeciba, la propuesta se encuentra en las fases finales de aprobación institucional (facultades de Química, Ingeniería y Ciencias).

Es este el resultado más valorado de la participación en este Centro, ya que implica la generación de condiciones para una formación interdisciplinaria de las nuevas generaciones de investigadores. Esta sería, en palabras del director,

La culminación de mayor aspiración del Centro: la formación de recursos humanos calificados en el estudio de materiales avanzados, pero con formación interdisciplinaria, que permita dar origen a una comunidad nacional en la temática, sin las barreras de diálogo que inevitablemente ocasionan las distingas jergas y enfoques que traen consigo las disciplinas encasilladas como tales (Mombrú, 2012: 8).

El Centro ha desarrollado distintas actividades desde su creación. Entre otras:

- Organización de eventos, como el Congreso Internacional de Nanotecnología y Biomateriales con la colaboración de la Facultad de Odontología en noviembre de 2010; otro en el 2013, también en el campo de

la odontología en una reunión que integraba cuatro congresos, donde nanotecnología era uno de ellos; y en noviembre de 2011 un seminario interno con 50 participantes;

- participación en el Consejo Sectorial Tripartito de Bio y Nanotecnología y posteriormente en el Consejo Sectorial de Nanotecnología, de la Dirección Nacional de Industria;
- participación de investigadores en escuelas internacionales y regionales (por ejemplo II Escuela de Materiales Prosul/AUGM; Escuela Internacional de Cristalografía Aplicada);
- desarrollo de actividades de investigación conjunta y de nuevas líneas de estudio y formación de grupos;
- tutorías conjuntas de estudiantes con cruces disciplinarios;
- integración (selección por concurso) de EULASUR, una red de materiales avanzados y nanomateriales de interés industrial entre Europa y países del Mercosur (Argentina, Brasil y Uruguay), con una duración de 30 meses (2009-2012) para crear una plataforma de cooperación para formar consorcios entre científicos, gestores de ciencia y decisores de políticas (CORDIS, s.f.).

Financiamiento de la I+D en Uruguay

El financiamiento de las actividades de I+D en Uruguay (excluyendo el sector agropecuario), se da principalmente a través de dos canales, como se presenta en el cuadro 2:

- i) la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), con programas de fondos concursables donde participan investigadores de todas las instituciones nacionales reconocidas, y
- ii) la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) de la Universidad de la República (Udelar), para los investigadores de esta institución.

Universidades privadas y empresas también reportan gastos en I+D, pero el gasto público es mayoritario con cerca del 70 por ciento del total.

En el cuadro 1, en la sección de anexo, se presentan los diferentes instrumentos de promoción de las actividades de I+D, formación de capacidades y vinculación, de estas dos agencias.

Cuadro 2
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL GASTO EN I+D EN 2013

| <i>Institución</i> | <i>% del gasto</i> |
|-----------------------------|--------------------|
| Universidad de la República | 31.5 |
| INIA | 17.8 |
| ANII | 7.4 |
| ANTEL | 4.02 |
| Latu | 1.9 |
| Otros | 8.8 |
| <i>Total gasto público</i> | <i>71.4</i> |
| Universidades privadas | 3.2 |
| Empresas | 25.4 |
| <i>Total gasto privado</i> | <i>28.6</i> |

Fuente: Pittaluga, MIEM-ANII (2014).

ANII

De acuerdo con la ley 18.084 la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), es una persona pública no estatal (MEC, 2007), que prepara, organiza y administra instrumentos y programas para la promoción del desarrollo científico-tecnológico y la innovación, de acuerdo con los lineamientos políticos estratégicos y las prioridades del Poder Ejecutivo; también promueve la articulación y coordinación de acciones de los actores públicos y privados, involucrados en la creación y utilización de conocimientos.

CSIC

La Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) es un órgano de cogobierno de la Universidad de la República, creado en 1990. Su finalidad es el fomento integral de la investigación en todas las áreas de conocimiento en la Universidad de la República. Para ello implementa diversos programas que apuntan al fortalecimiento y estímulo de la investigación en el ámbito universitario (www.csic.edu.uy).

Financiamiento de actividades del Cinquifima

Los recursos que el Cinquifima recibe del Espacio Interdisciplinario han sido destinados mayormente al financiamiento de cargos docentes y a la

adquisición de equipamiento consensuado (sistema de depósito de películas delgadas por evaporación resistiva) (Espacio Interdisciplinario, 2011).

Entre las iniciativas que se llevaron adelante, cabe destacar un proyecto de aplicación de nanotecnología en un cosmético elaborado con base a marcela (*Achyrocline Satureioides*). La línea de productos cosméticos lanzada al mercado local en 2011 fue el resultado de una alianza entre un grupo de actores de la academia y del sector productivo financiado por la ANII (Chiancone y Martínez Larrechea, 2013).

Otro proyecto es el realizado por el Laboratorio de Biomateriales, para detectar plumbemia en Uruguay (aumento de la capacidad analítica para el control universal de la plumbemia en el Uruguay), financiado por el programa de Proyectos de Investigación e Innovación orientados a la Inclusión Social, 2011-2013, de la CSIC-Udelar. En la misma línea de investigación, fue realizado en el periodo 2009-2011, el proyecto “Análisis y monitorización *in situ* de contaminantes ambientales”, con fondos del Programa Vinculación Universidad-Sector Productivo CSIC (<http://biomateriales.fcien.edu.uy/contenido/proyectos.htm>).

Es variado el conjunto de instrumentos en el que cada grupo participa. En el caso del DETEMA, por ejemplo, los más empleados son: de la ANII, el Fondo Clemente Estable, el Fondo María Viñas, el Programa de Equipamiento Científico de Punta; y de la CSIC los programas de pasantías en el exterior, eventos en el país, y científicos visitantes.

En septiembre de 2014 fue presentada a la convocatoria de centros tecnológicos (cuyo objetivo es la creación de demanda de innovación), una solicitud de financiamiento para la creación del Centro Tecnológico de Nanotecnología del Uruguay. En dicha propuesta participan tres empresas (Arcos Biomedical, Monte Paz y GindLab), el Parque Científico y Tecnológico de Pando y la Facultad de Química (Polo Tecnológico de Pando) (ANII, 2014a). Se espera todavía la comunicación del resultado de la evaluación de dicha convocatoria

Discusión

El proceso de vinculación y organización de los investigadores en nanotecnología en pos de la creación de las condiciones para el desarrollo de sus actividades de I+D comenzó en Uruguay en el año 2006, antes de la definición de la nanotecnología como área estratégica en el PENCTI. A partir de ahí se desarrollaron dinámicas de diversificación de las instituciones que trabajan en ese campo (si bien la Universidad de la República conserva su presen-

cia mayoritaria). Creció el número de investigadores, aumentó la disponibilidad de oportunidades de nuevos fondos concursables y un variado espectro de programas de vinculación con el sector productivo, y en una cantidad mucho menor, los orientados a la “inclusión social”.

Estos diez años de construcción por los practicantes del campo evidencian el entramado de relaciones cognitivas, institucionales y políticas en los que se despliegan las actividades de I+D, y muy especialmente su indisociable naturaleza social y técnica.

La inexistencia de un plan específico de financiamiento de actividades de I+D de nanotecnología llevó a que las mismas se desarrollaran con recursos que los investigadores obtienen principalmente a través de dos canales de fondos públicos: los programas de la ANII o la CSIC de la Universidad de la República.

El proyecto Cinquifima representó una nueva organización virtual de los investigadores del campo, propia de las nuevas formas de organización del trabajo de investigación que implica la deslocalización de las capacidades científico-tecnológicas. Facilitó las interacciones entre los diferentes grupos de la Universidad de la República y del Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable, manteniendo la dinámica y la estructura de trabajo de cada grupo, a la vez que aumentó la escala de la investigación.

La iniciativa incluye una definición de nanotecnología como un área de la física y química de materiales, y de carácter interdisciplinario. Esto representa no sólo una sólida fundamentación del proyecto, sino también una definición política de la orientación del trabajo de los principales investigadores locales que integran el Centro.

El mayor logro del Cinquifima, según lo expresaba su director (entrevista 21 de abril de 2015), ha sido la elaboración de la propuesta de maestría en Nanociencia y Ciencia de Materiales, la que se encuentra en las fases finales de aprobación institucional. El carácter interdisciplinario de este postgrado creará una primera generación de nanotecnólogos en Uruguay, formados en una estructura interdisciplinaria relevante para el abordaje de la nanotecnología.

Adicionalmente, en esta fase organizacional del trabajo en nanotecnología, podría estarse transitando de una perspectiva de la interdiscipliniedad asociada a una visión instrumental del conocimiento que concibe la interdiscipliniedad como una actividad aplicada o centrada en problemas para satisfacer las demandas externas de la sociedad, hacia otra donde se focaliza la interdisciplina como actividad conceptual con un énfasis en la nueva síntesis de conocimientos. En esta concepción, la interdisciplina es

concebida como una empresa teórica, primordialmente epistemológica que implica coherencia interna, el desarrollo de nuevas categorías teóricas, unificación metodológica e investigación y exploración a largo plazo (Salter y Hearn, 1996: 8-9).

Además, la creación de nuevos grupos y líneas comunes de trabajo estarían indicando que se superarían las dificultades típicas de las iniciativas interdisciplinarias que llevan a que la investigación científica integrada sea señalada como una labor difícil, aún en el caso de una red temática o de una misma disciplina (Hidalgo *et al.*, 2007; Banús, 2006); también a que eventualmente sean más los motivos que tienen los investigadores para no colaborar que para colaborar, centrándose la elaboración de la cuestión interdisciplinaria en los responsables del programa (Pohl 2005, citado por Hidalgo *et al.*, 2007). Se supera así el error de identificar interdisciplinariedad con grupo de investigación integrado por practicantes de diferentes disciplinas; a veces sucede que lo único “interdisciplinario” de una investigación interdisciplinaria es la gestión del proyecto (Salter y Hearn, 1996: viii).

Pese a la proximidad de la fecha de finalización del proyecto —a mediados de 2015—, los diferentes proyectos y planes a concretarse en este año, son estimulantes. En primer lugar, la aprobación del programa de postgrado en nanotecnología; también el anunciado lanzamiento del Plan Industrial de Nanotecnología, y la eventual creación del Centro Tecnológico de Nanotecnología (dependiendo de los resultados de la evaluación de la propuesta). Adicionalmente, el contexto de cambios en el escenario local de políticas públicas para la competitividad, podría llegar a representar un cambio positivo en las posibilidades de financiamiento del trabajo de los nanotecnólogos en colaboración con el sector productivo.

Anexo

Cuadro 1

PRINCIPALES INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA QUE PROMUEVEN
EL DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE I+D+I EN URUGUAY.
AGENCIA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN (ANII) Y
COMISIÓN SECTORIAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE UDELAR (CSIC)

| <i>Instrumento según actividad promovida</i> | <i>Objetivos</i> |
|--|---|
| <i>Promoción de la investigación</i> | |
| ANII | |
| Investigación fundamental: Fondo “Clemente Estable” | Consolidar las capacidades de investigación y desarrollo de excelencia en todas las áreas del conocimiento. |
| Investigación aplicada: Fondo “Profesora María Viñas” | Apoyar la investigación aplicada de excelencia en todas las áreas del conocimiento en un intento por solucionar problemas específicos. |
| Sistema Nacional de Investigadores | i) Fortalecer y expandir la comunidad científica; ii) identificar, evaluar periódicamente y categorizar a quienes investiguen en el territorio nacional o que siendo uruguayos trabajan en el exterior; iii) estimular la dedicación a la producción en todas las áreas del conocimiento mediante un sistema de apoyos económicos otorgados por concurso. |
| Programas y Proyectos de Popularización de la Ciencia, Tecnología e Innovación | Fomentar la difusión social de conocimientos en ciencia, tecnología e innovación, a través de la divulgación y popularización. |
| Alto Impacto Social | Apoyar a proyectos de investigación, desarrollo e innovación, cuyos resultados provoquen mayores grados de bienestar social para los ciudadanos del país. |
| Equipamiento científico de punta | Impulsar la excelencia en investigación dotando al Sistema Nacional de Innovación de equipamiento científico de punta, inexistente en el país, o inaccesible a las instituciones postulantes. |
| CSIC | |
| Proyectos de I+D | Fomentar la realización de investigaciones de alta calidad en todas las áreas de conocimiento en la Universidad de la República. |

Cuadro 1 (*Continuación*)

| | |
|--|--|
| Grupos de I+D | Brindarle a los grupos de investigación de la Universidad de la República, en todas las áreas de conocimiento, la oportunidad de desarrollar sus agendas de investigación y actividades conexas, así como la incorporación y formación de jóvenes investigadores. Para ello, el Programa de Apoyo a Grupos de Investigación prevé plazos mayores a los establecidos por los llamados habituales a proyectos de I+D. |
| Programa Iniciación a la Investigación | *Generar oportunidades para que <i>a)</i> docentes grado 1 y 2 de la Universidad de la República y <i>b)</i> egresados de la Universidad de la República que estén inscritos en programas de postgrado en los que participe la Udelar o en modalidad “sandwich” con una universidad extranjera, puedan desarrollar su primer proyecto propio de investigación con apoyo financiero. *Facilitar la vinculación de docentes y egresados con grupos de investigación que trabajen temáticas de su interés. *Apoyar la realización de tesis en el marco de postgrados académicos (maestrías o doctorados). |
| Fortalecimiento del equipamiento de investigación | Apoyar la compra de equipamiento y/o <i>software</i> tendientes a la renovación y actualización de la infraestructura tecnológica para la investigación en los diferentes servicios y dependencias de la Universidad de la República. Asimismo, se pretende apoyar la instalación de infraestructura tecnológica para la investigación en todos los servicios y dependencias de la Universidad de la República. |
| Programa de Fomento de la Investigación de Calidad | Continuar apoyando propuestas que apunten a fortalecer las capacidades para llevar a cabo actividades de investigación de calidad en áreas o sectores donde dichas capacidades son actualmente débiles. Para ello se propone financiar programas de fortalecimiento en el largo plazo (5 años). |
| Programa de Apoyo a Publicaciones | Colaborar con la difusión de los resultados de actividades de investigación universitaria en sus más diversas modalidades. |
| <i>Promoción de la innovación orientada al sector productivo</i> | |
| ANII | |
| <i>Apoyo a la innovación empresarial</i> | |
| Innovación de Amplia Cobertura | Promover la innovación empresarial con el fin de mejorar la competitividad, productividad y rentabilidad de las empresas. Este instrumento cuenta con dos modalidades: amplia cobertura mayores (ACM) y amplia cobertura pequeños (ACP). |

| | |
|--|--|
| Innovación Tecnológica de Alto Impacto | Fomentar el desarrollo de innovaciones con base tecnológica de alto impacto. Se consideran de alto impacto aquellas innovaciones que amplían notoriamente la capacidad exportadora de las empresas beneficiarias, y/o aquellas innovaciones que impacten profundamente en la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. |
| Proyectos de Apoyo a Prototipos de Potencial Innovador | Fomentar y acompañar a las empresas en el proceso de conversión de nuevas ideas en prototipos. Se incluye también el apoyo a ensayos demostrativos o pruebas piloto para la implantación de tecnologías o sistemas de producción nuevos para el país que puedan tener un buen potencial de desarrollo. |
| Programas de Innovación en Modalidad Cooperación Internacional | Apoyar proyectos que surjan de esfuerzos colaborativos entre empresas nacionales e internacionales, que fomenten y fortalezcan la competitividad empresarial en los distintos sectores de la economía de dos países y contribuyan al fortalecimiento de lazos de cooperación internacional. |
| Emprendedores Innovadores | Promover la creación y desarrollo de nuevas empresas que se planteen la comercialización de productos o servicios innovadores con respecto al mercado al cual pretenden ingresar. Dos modalidades: 1) emprendedores innovadores y 2) nuevas empresas. |
| Fondo Orestes Fiandra | Otorgar préstamos para la implementación de planes de crecimiento de empresas innovadoras o intensivas en conocimiento. |

Mejora de la competitividad

| | |
|--|--|
| Mejora de Gestión y Certificación de Calidad | Apoyar proyectos de mejora de gestión o de implantación de sistemas de gestión de calidad certificables por normas internacionales, y/o aquellas actividades que permitan obtener la normalización técnica y/o la certificación de procesos y productos. |
| Certificación y Nuevos Mercados de Exportación | Apoyar proyectos de certificación que demuestren que tienen impacto directo sobre la apertura de nuevos mercados de exportación, o para el mantenimiento de mercados de relevancia para la empresa. |
| Recursos Humanos Calificados en la Empresa | Incorporar recursos humanos calificados en la empresa con los efectos de contribuir a la solución de problemas tecnológicos que fomenten las actividades de I+D y ayuden a la mejora de la competitividad de la empresa. |
| Capital Humano Avanzado en la Empresa | Apoyar a la empresa (o grupo de empresas) en la solución de problemas específicos, a través de la contratación de expertos de nivel internacional, cuyos conocimientos y capacidades no se encuentran disponibles en el país. |

Cuadro 1 (*Continuación*)

| | |
|---|---|
| Recursos Humanos Altamente Calificados en la Empresa | Apoyar a las empresas para que incorporen o contraten profesionales altamente calificados. Se pretende, mediante la incorporación de estos profesionales, estimular y mejorar la capacidad tecnológica, a través de la implantación y desarrollo de procesos de I+D+I. |
| <i>Articulación del sistema nacional de innovación</i> | |
| Alianza para la innovación | Fomentar la transferencia de tecnología, absorción de nuevas tecnologías e innovación en el sector productivo mediante la formación de alianzas entre actores del sector productivo y del sector académico. |
| Programa Estímulo a la Demanda Tecnológica | Subsidiar proyectos de incorporación de tecnología a redes de empresas que operen en el sector productivo. Se orienta a dinamizar la demanda de tecnología así como a promover redes de demanda y oferta. |
| Redes Tecnológicas Sectoriales | Estimular la asociación de agentes relevantes del lado de la demanda y oferta de capacidades tecnológicas, con especial foco en áreas prioritarias. |
| Centros Tecnológicos Sectoriales | Fortalecer la capacidad del Uruguay para ofrecer capacitación y servicios de tecnología especializada enfocados al sector privado en áreas ya existentes y otros emergentes (de acuerdo con las prioridades de la estrategia nacional), mediante la creación de centros tecnológicos o mejorando la capacidad de los ya existentes. |
| Investigadores + Inversores | Facilitar que los conocimientos generados en el país a través de grupos de investigadores, puedan transformarse en productos, servicios o procesos innovadores que tengan potencial de impacto de mercado, mediante la inversión de capitales privados en conjunto con el apoyo de ANII. |
| Generación y Fortalecimiento de Servicios Científico-Tecnológicos | Generar y/o fortalecer servicios científico-tecnológicos, a través de la cofinanciación de proyectos que respondan a demandas del sector productivo y/o contemplen necesidades de la población en general, y que propendan a la mejora del desempeño de recursos humanos calificados. |
| Fondos Sectoriales | Promover la resolución de problemas actuales o futuros para el desarrollo de los algunos sectores. |
| Fondo Innovagro | <i>Modalidad I:</i> Grupos de Investigación. Acuerdo de Cooperación INIA y ANII para promover la resolución de problemas actuales o derivados de la prospectiva, para el desarrollo de oportunidades de cadenas agroindustriales, de preferencia exportadoras. |
| Fondo Sectorial de Acuicultura y Pesca | <i>Modalidad I:</i> Promover la investigación y el desarrollo del conocimiento científico, técnico y tecnológico en el área de los recursos acuáticos. |

| | |
|---------------------------------|--|
| Fondo Sectorial de Energía | <i>Modalidad I:</i> Grupos de Investigación. Promover las actividades de investigación y desarrollo en el Área de Energía. |
| Fondo Sectorial de Salud Animal | Encontrar, mediante investigación de excelencia, soluciones a las principales enfermedades infecciosas de la reproducción en bovinos, que limitan la productividad nacional, y determinar las causas de pérdidas reproductivas entre el diagnóstico de gestación y el destete. |
| Fondo Sectorial de Salud | <i>Modalidad I:</i> Grupos de Investigación. Apoyo a proyectos de I+D en Salud Pública y Medicina Humana, cuyos resultados presenten aplicabilidad a la realidad nacional. |
| Fondo Televisión Digital | <i>Modalidad I:</i> Grupos de Investigación. Estimular la investigación y desarrollo en televisión digital interactiva. |
| Fondo Inclusión Social | Apoyar a empresas, individuales o asociadas, que presenten soluciones innovadoras para la inclusión económica de personas con discapacidades. |

CSIC

| | |
|--|---|
| Proyectos de Investigación e Innovación orientados a la Inclusión Social | Promover agendas de investigación e innovación, en todas las áreas de conocimiento, orientadas a la resolución de problemas que dificultan la inclusión social. |
|--|---|

Promoción de la formación de capital humano

CSIC

Programas de Recursos Humanos

| | |
|--------------------------|--|
| Pasantías en el exterior | Apoyo financiero para la concurrencia de docentes de la Udelar a centros de reconocida calidad en el exterior, por periodos no menores a 15 días ni mayores a seis meses. |
| Eventos en el país | Promover la realización de reuniones científicas en el país, a través del apoyo financiero a aquellos servicios universitarios que asuman la responsabilidad y la organización de los eventos en cuestión. Dentro de los eventos financiados se incluyen simposios, seminarios, congresos, ciclos de conferencias y talleres, tanto de carácter nacional y regional como internacional, realizados en el país. |
| Científicos visitantes | Contribuir con actividades de investigación en la Universidad de la República, tales como dictado de cursos de postgrado, participación en seminarios, participación en actividades de investigación o integración de tribunales de tesis. |

ANII

Posgrados

| | |
|-------------------------------------|--|
| Becas para posgrados en el exterior | Fortalecer las capacidades en recursos humanos con que cuenta el país a través del financiamiento de becas de postgrado en el exterior (maestrías y doctorados) en áreas que han sido definidas como estratégicas por el GMI. Estas becas incluyen, a su vez, convenios que permiten postularse simultáneamente con algunas instituciones. |
|-------------------------------------|--|

Cuadro 1 (*Continuación*)

| | |
|--|---|
| Becas Chevening-ANII | Fortalecimiento de cooperación bilateral entre el Reino Unido y Uruguay mediante el financiamiento de becas de maestría en las áreas de energía, salud, relaciones internacionales, medioambiente y biodiversidad y tecnologías de la información y las comunicaciones. |
| Becas Holanda-UNESCO-IHE | Aumentar las capacidades y conocimientos de los recursos humanos en el área de la ingeniería sanitaria y la gestión sostenible de los recursos naturales. |
| Becas de Posgrado en Canadá- Convenio IDRC | Fortalecer las capacidades de los recursos humanos con que cuenta el país a través de la realización de maestrías y/o doctorados en Canadá. En particular pretende construir capacidades en el sector de industrias extractivas. |
| Becas de Posgrados Nacionales | Fortalecer las capacidades en recursos humanos con que cuenta el país a través del financiamiento de becas de postgrado nacionales (maestrías y doctorados) en áreas que han sido definidas como estratégicas por el Gabinete Ministerial de la Innovación (GMI). |
| Posdoctorados Nacionales | Fortalecimiento de las capacidades en recursos humanos calificados con que cuenta el país en todas las áreas de conocimiento con preferencia en las indicadas por el PENCTI, a través del financiamiento de becas de postdoctorado para investigadores de excelencia académica. |
| <i>Movilidad y vinculación</i> | |
| Movilidad Capacitación | Fortalecer los recursos humanos de instituciones de investigación nacional, en áreas estratégicas y campos prioritarios. |
| <i>Vinculación con científicos y tecnólogos en el exterior</i> | |
| Becas Fulbright-ANII | Fomentar el mutuo conocimiento entre Estados Unidos y Uruguay a través de la educación internacional. Se financian maestrías y doctorados en Estados Unidos en áreas prioritarias y otras áreas. |
| Programa de Apoyo a Futuros Empresarios | El objetivo general del programa es contribuir a incrementar la inversión privada en actividades de innovación. El objetivo específico es aumentar la cantidad de nuevos emprendimientos innovadores y exitosos en Uruguay. |
| <i>Apoyo institucional</i> | |
| Formuladores de Proyectos de Empresas | Herramienta mediante la cual los proponentes que demuestren tener un proyecto de innovación para postular ante una convocatoria de ANII, pueden contratar expertos formuladores de proyectos para el armado del mismo. |

Fuente: ANII (2013, 2014b, y www.csic.edu.uy).

Fuentes consultadas

- Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) (2013). *Informe de seguimiento de actividades*. Recuperado de <http://www.anii.org.uy/web/sites/default/files/files/ISA2013.pdf>
- (2014a). *Centros Tecnológicos Sectoriales. Informe de cierre Convocatoria 2014*. Recuperado de <http://www.anii.org.uy/web/sites/default/files/files/Informe%20cierre%20Perfiles%20CTS%202014.pdf>
- (2014b). *Informe de seguimiento de actividades*. Recuperado de <http://www.anii.org.uy/web/sites/default/files/files/INFORME%20DE%20SEGUIMIENTO%20DE%20ACTIVIDADES%202014.pdf>
- BANÚS, E. M. (2006). La estrategia de redes de conocimiento adoptada por UNESCO. En M. Albornoz y C. Alfaraz (Eds.), *Redes de conocimiento. Construcción, dinámica y gestión* (pp. 11-14). Buenos Aires: RICYT-UNESCO.
- BENECH, J. C. (2014). *Nanohealth in Uruguay. Presentación en el NMP-DeLA Expert Workshop 19th-20th May. 2014*. Recuperado de http://www.nmp-dela.eu/ExpertWorkshopPresentations/09NMP-DeLAExpertWorkshop_presentationUruguay.pdf
- CHIANCONE, A. y Martínez Larrechea, E. (2013). Innovations in the private sector in Uruguay: Nanotechnology in cosmetics. *Nanotechnology Law and Business Journal*, 9(3), 293-309.
- Centro Interdisciplinario de Nanotecnología, Química y Física de Materiales. Recuperado de http://cryssmat.fq.edu.uy/CINQUIFIMA/index_archivos/Page969.htm
- CORDIS (s.f.). Final Report Summary-EULASUR (Network in advanced materials and nanomaterials of industrial interest between Europe and Latin American countries of Mercosur [Argentina-Brazil-Uruguay]). Recuperado de http://cordis.europa.eu/result/rcn/54775_en.pdf
- Espacio Interdisciplinario-Unidad Académica (2011). *Informe de Avance. Centros Interdisciplinarios 2009-2011*. Recuperado de http://www.ei.ude-lar.edu.uy/resources/2/0/3/8/0_697dca7e76c55af/20380_d2a6502ced878f7.pdf
- FOGELBERG, H. y Glimell, H. (2003). *Bringing visibility to the invisible: towards a social understanding of nanotechnology*. *STS Research Reports*, 6.
- FUNTOWICZ, S. y Ravetz, J. (2003). *Post-Normal Science*. Recuperado de <http://isecoeco.org/pdf/pstnormsc.pdf>
- Gabinete Ministerial de la Innovación (2007). *Bases y principales lineamientos. Plan Estratégico Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Recuperado de <http://www.anii.org.uy/imagenes/pencnti.pdf>

- Gabinete Productivo (2010). *Cadenas de valor (II). Bio y nanotecnología-Avícola-Porcina-Cátricos-Textil-Vestimenta*. Montevideo: Gabinete Productivo.
- HIDALGO, C., Natenzon, C. y Podestá, G. (2007). Interdisciplina: Construcción de conocimiento en un proyecto internacional sobre variabilidad climática y agricultura. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 3(9), 53-68.
- MEC (2007). *Decreto 166/07*. Recuperado de [http://www.anii.org.uy/web/sites/default/files/files/decreto_166_007_reglamentario\(1\).pdf](http://www.anii.org.uy/web/sites/default/files/files/decreto_166_007_reglamentario(1).pdf)
- MOMBRÚ, A. (2012). “Un Nuevo Centro Interdisciplinario en Nanotecnología en Uruguay”. *Revista Digital Universitaria*. 1 de mayo, 13(5). Recuperado de <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num5/art49/art49.pdf>
- Programa de Desarrollo de Ciencias Básicas (Peduciba) (2013). *Informe de actividades centrales del Peduciba Año 2013*. Recuperado de http://nas.peduciba.edu.uy/docspd/Informe_de_Actividades_2013.pdf
- _____ (2014). *Acta Número 13/2014*. Recuperado de http://www.peduciba.edu.uy/peduciba/resoluciones/actas/FIS/FIS_CCA_20141022.pdf
- PITTALUGA, L-MIEM-ANII (2014). “Innovación en Uruguay: evolución reciente y desafíos futuros”. Seminario de Productividad, Pilar del Crecimiento Sostenible del Cono Sur. Organizado por el Banco Interamericano de Desarrollo [BID]; 18-19 de noviembre.
- _____ (2015). Nota Técnica. La Política Industrial en Uruguay (2005-2015). Los Consejos Sectoriales Organizados por el Gabinete Productivo. Recuperado de https://www.academia.edu/12047544/NOTA_T%C3%89CNICA._LA_POL%C3%8DTICA_INDUSTRIAL_EN_URUGUAY_2005-2015._LOS_CONSEJOS_SECTORIALES_ORGANIZADOS_POR_EL_GABINETE_PRODUCTIVO
- Presidencia de la República (2015). Proyecto de Ley del Sistema Nacional de Competitividad. Recuperado de http://archivo.presidencia.gub.uy/sci/proyectos/2015/03/mrree_3.pdf
- SALTER, L. y Hearn, A. (1996). *Outside the lines: Issues in interdisciplinary research*. Buffalo: McGill-Queen’s University Press.
- VESSURI, H., Sánchez-Rose I., Hernández-Valencia I., Hernández L., Bravo L. y Rodríguez, I. (2014). *Working Paper No. 622014. Desigualdades de conocimiento y estrategias para reducir las asimetrías El trabajo de campo compartido y la negociación transdisciplinaria*. Recuperado de http://www.edocs.fu-berlin.de/docs/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDOCs_derivate_000000003426/62-WP-Vessuri-et-al-Online.pdf;jsessionid=D2E9FAD8870C57C0787F06D6707D9AED?hosts=

- VESSURI, H. (2008). *El futuro nos alcanza: Mutaciones previsibles de la ciencia y la tecnología*. Recuperado de http://www.oei.es/salactsi/CAPITULO_02_Vessuri.pdf
- VINCK, D. (2006). *L'équipement du chercheur: comme si la technique était déterminante*. Recuperado de <http://www.ethnographiques.org/2006/Vinck.html>
- VV.AA. (2013). *Las nanotecnologías en Uruguay* (Chiancone, A. y Foladori, G. (Coords.)). Montevideo: Espacio Interdisciplinario. Universidad de la República.

La utilización de la nanoplata en la producción alimenticia mundial y brasileña: una mirada a partir de investigaciones nanotoxicológicas*

Wilson Engelmann**

Andréa Aldrovandi****

Raquel von Hohendorff****

Introducción

Son diversas las aplicaciones actuales y potenciales de la tecnología nano en los alimentos. El propósito puede ser aumentar el plazo de validez del producto, reduciendo la sensibilidad a los cambios de temperatura, u otorgar propiedades antibióticas mediante el uso de nanoplata, o incorporar complementos nutricionales en nanoescala, la aplicación a envases y otros materiales en contacto con alimentos también es objeto de aplicaciones nanotecnológicas, sea en la producción, almacenamiento, transporte o servicio al consumidor. La nanoplata aplicada a los alimentos es una muestra, dentro de un mundo de posibilidades y riesgos producidos por la revolución nanotecnológica. La lista de productos con nanoplata comercializados, que será presentada en este capítulo, muestra que las nanotecnologías dejaron de ser ficción para ser realidad.

La nanoplata es, también, un ejemplo del riesgo que los nanomateriales pueden implicar para la salud humana, animal y ambiental, debido a la

*Resultado parcial de los siguientes proyectos de investigación: *a)* nanotecnologías aplicadas a los alimentos y a los biocombustibles: reconociendo los elementos esenciales para el desarrollo de indicadores de riesgo y de marcos regulatorios que protejan la salud y el ambiente (Red Nanobiotec-Brasil/CAPES); *b)* observatorio de los Impactos Jurídicos de las Nanotecnologías: en busca de elementos esenciales para el desarrollo del diálogo entre las Fuentes del Derecho a partir de indicadores de Regulación a las investigaciones y a la producción industrial sobre la base de la nano escala: Pliego Universal CNPq 14/2014; *c)* llamada MCTI/CNPq Número 17/2011: Apoyo a la creación de redes cooperativas de investigación y desarrollo en Nanotoxicología y Nanoinstrumentación: proyecto titulado: “Nanotoxicología ocupacional y ambiental: subvenciones científicas para establecer marcos regulatorios y evaluación de riesgos”.

**Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISInOS/RS/Brasil). Líder del Grupo de Investigación JUSNANO (CNPq); becario de Productividad en Investigación de CNPq.

***Universidade de Caxias do Sul, Brasil.

****Abogada y médica veterinaria, R.S., Brasil.

alta capacidad de penetración y acumulación de dichas nanopartículas en organismos vivos. Los resultados varían dependiendo de la dimensión de las nanopartículas, la forma de exposición y la utilización en los productos. El análisis que aquí presentamos sobre la nanoplata aplicada a los alimentos demuestra que hay posibilidad de soluciones adecuadas para el control de los riesgos y la protección humana y ambiental, no obstante, a nivel individual, los riesgos resulten invisibles. La investigación recolectó datos sobre productos alimentarios con nanoplata, sea incorporada directamente en el alimento o en embalajes, producidos y comercializados en el mundo y en Brasil. Para ello se utilizó la herramienta de búsqueda del inventario elaborado por el Proyecto sobre Nanotecnologías Emergentes (PEN), y con registros hasta abril de 2015; agregando información disponible en los sitios de empresas brasileñas que declaran utilizar la nanoescala.

La creatividad es una característica del ser humano que está cada vez más presente en campos nunca antes imaginados, promoviendo el desarrollo científico y tecnológico. Uno de estos ejemplos está en el campo de las nanotecnologías, es decir, en el conjunto de tecnologías y sectores que utilizan la escala nanométrica —que equivale a la milmillonésima parte del metro— para desarrollar investigaciones y productos con características físico-químicas nuevas. Se comprueba que los productos desarrollados nanotecnológicamente ya forman parte de la vida cotidiana de los consumidores brasileños y extranjeros.

Los avances científicos y tecnológicos prometen ventajas para las personas, mejorando su nivel de vida. Nadie parece estar en contra de este movimiento. Sin embargo, hay dudas sobre la seguridad de estos nuevos productos para la salud humana, y los impactos sociales y ambientales que podrán provocar. La comprensión de estos impactos será fundamental, por al menos dos razones: *a)* la comprensión de los riesgos ayudará a garantizar la protección ambiental y de la salud humana; *b)* este conocimiento va a garantizar el desarrollo sostenible de la industria de nanotecnologías, que es planteada como conductora económica global significativa (Baalousha *et al.*, 2014: 1-2).

Los nanomateriales son sustancias de dimensión extremadamente pequeña que ofrecen, por ejemplo, nuevas aplicaciones en la industria de alimentos. Sin embargo, el pequeño tamaño de los nanomateriales puede resultar en toxicidad para la salud humana y el ambiente. No existe información suficiente sobre la seguridad de las partículas manufacturadas de nanoplata, aunque la producción de este tipo de nanopartículas sea muy grande.

Más de 400 toneladas de nanopartículas de plata (Ag NPs) son producidas anualmente, un 30 por ciento es utilizado en aplicaciones médicas debido a sus propiedades antibacterianas. El uso generalizado de nanopartículas de plata tiene implicaciones a lo largo de todo el ciclo de vida de productos médicos, desde la producción hasta la disposición, incluyendo la liberación en el ambiente (Pourzahedi y Eckelman, 2015). Conocer los productos alimentarios que utilizan la nanoplata y sus potenciales riesgos, son los principales objetivos de este artículo. Nanomateriales artificiales están comenzando a entrar en la cadena alimentaria, aunque no se haya comprobado que son seguros para consumo. La FDA (Food and Drug Administration: agencia gubernamental estadounidense que supervisa y autoriza la comercialización de alimentos y medicamentos) aún no reglamentó nanomateriales en alimentos, y ha alertado que no tiene conocimiento de cualquier ingrediente alimentario en la escala nanométrica para lo cual existan datos disponibles para determinar si su utilización puede ser segura. Se cita el ejemplo de los amiantos, también una especie de nanomaterial, que fueron utilizados antes de que sus riesgos fueran completamente comprendidos, llevando a una costosa crisis de salud (Behar, Fugere y Passoff, 2013).

Estimulados por estas situaciones encontradas en la literatura sobre los alimentos y las nanotecnologías, los autores elaboraron un inventario de los productos que ya usan la plata a nanoescala —en el mercado mundial y en el brasileño—, además de buscar dimensionar los riesgos y potenciales de toxicidad para el ser humano y el medio ambiente. La tarea no es fácil, pues se depende de la confiabilidad de las informaciones sintetizadas en páginas específicas de Internet o de los datos publicados por las empresas en sus propias páginas electrónicas. Como metodología de investigación, se usará la investigación cuantitativa y del análisis de contenido de los anuncios y demás materiales encontrados, incluyendo la literatura ya publicada sobre el tema.

Nanotecnologías aplicadas a los alimentos

El concepto de nanoalimentos incluye productos que contienen nanopartículas y alimentos y bebidas embalados, almacenados o producidos con material que haya pasado por cualquier proceso de manipulación nanotecnológica. Son ejemplos: aromatizantes y suplementos que tienen nanopartículas en su fórmula, embalajes de productos alimentarios, utensilios de cocina, filtros para agua y producción de bebidas en general, películas para

frutas y hortalizas, bien como raciones para animales, fertilizantes y agro-tóxicos.

El uso de la tecnología nano en la producción de alimentos, utensilios y filtros que entran en contacto con la comida o la bebida, tanto en la fase de producción, transporte y almacenamiento, como de consumo, es comúnmente recibido con beneplácito. Muchos son los beneficios ya comprobados para este tipo de aplicación nanotecnológica, como la reducción del desperdicio por la utilización de películas y embalajes que aumetan el plazo de validez de los alimentos, al reducir la sensibilidad al calor y evitando la pérdida de agua, o también agregando al producto una propiedad antibiótica que dificulte el desarrollo de bacterias y hongos.

El Proyecto sobre Nanotecnologías Emergentes (Project on Emerging Nanotechnologies [PEN]) presenta 117 productos, ya comercializados, del segmento de alimentos y bebidas que contienen nanopartículas. El inventario incluye embalajes, filtros, refrigeradores, botellas, agua, suplementos diversos, productos infantiles, máquinas y utensilios de cocina. Tales productos contienen nanomateriales diversos, como dióxido de titanio, calcio, arcilla, carbono, silicio, oro y plata, entre otros.

El Informe de 2009 de Food and Agriculture Organisation of United Nations (FAO) y World Health Organisation (WHO) ya presentaba distintas especies de nanoalimentos en el mercado, por ejemplo: *a*) nanoestructuras procesadas dentro de los alimentos con el objetivo de mejorar el sabor, la textura y el gusto de productos *light* y *diet*; *b*) nanosistemas de entrega de nutrientes y suplementos en forma de sustancias bioactivas encapsuladas, para disimular sabores desagradables de los ingredientes y aditivos, como aceite de pescado, y preservar la entrega de estos nutrientes, como ácidos y vitaminas; *c*) aditivos orgánicos e inorgánicos (como plata, oro, hierro, calcio, magnesio, dióxido de titanio y selenio, entre otros) en suplementos alimentarios; *d*) nanofiltraje de cervezas y vinos hechos con sílice coloidal; y *e*) nanopartículas utilizadas en pesticidas y fertilizantes, así como en productos veterinarios (FAO, 2009).

Los beneficios agregados por las nanotecnologías a los productos difieren, dependiendo de las propiedades de la sustancia utilizada. De la misma manera, los riesgos dependerán del tipo de nanotecnología aplicada a los alimentos y de otras condiciones, como la temperatura (Buzby, 2010). No se puede afirmar genéricamente que los nanoalimentos son seguros, dado que la tecnología nano utiliza diversos elementos químicos con propiedades muy distintas.

Datos toxicológicos adecuados todavía no están disponibles, y evaluaciones de seguridad aún están en proceso. A lo largo de los últimos años, varios estudios relataron la migración de nanopartículas de la matriz hacia el alimento o el ambiente. La mayoría de esos estudios se concentraron en nanopartículas de plata con las preocupaciones del público y del gobierno sobre su seguridad y sus efectos en la salud (Bumbudsnparoke y Ko, 2015). Algunos informes indicaron que las nanopartículas de plata pueden perjudicar las células humanas, modificando la función de las mitocondrias, aumentando la permeabilidad de las membranas y generando especies reactivas de oxígeno (Song *et al.*, 2011). Es imposible evaluar genéricamente los riesgos de los nanomateriales a la salud. Cada sustancia produce efectos distintos, no solamente en comparación con otros materiales, como también con relación a la propia sustancia en su tamaño macro, es decir, las nanopartículas son diferentes en su estructura y química y, en consecuencia, no pueden ser consideradas como un solo objeto en el análisis de seguridad. Entonces, la información al consumidor se vuelve imprescindible.

Los dos componentes del riesgo, peligro y exposición, buscan identificar el daño innato que una determinada sustancia puede presentar, y el potencial de un organismo para interactuar con ese material. La investigación científica tradicional de evaluación del riesgo exige la conexión del comportamiento físico y químico para efectos sobre el cuerpo humano y otros organismos, además del ambiente. Nuestra incapacidad de desarrollar evaluaciones cuantitativas de riesgo para los nanomateriales con niveles aceptables de certeza proviene de la incertidumbre inherente a nuestras estimaciones actuales de exposición y toxicidad. Sin embargo, algunos estudios de toxicidad han indicado efectos crónicos cuantificados, o las consecuencias de la bioacumulación (Klaine *et al.*, 2012).

Para una mejor evaluación de riesgos, se debe elegir un nanomaterial como objeto de estudio. De esta forma, este artículo optó por el análisis de la nanoplata, por ser un material con prominente aplicación en el mercado alimenticio, debido a su reconocido efecto bactericida.

La plata es un antibiótico cuyos efectos son reconocidos desde la antigüedad. El conocimiento sobre los beneficios de ese metal noble se reafirmó en cada generación. Por lo tanto, no hay novedad en cuanto a los efectos de ese elemento químico (Ag), pues no es nuevo. La novedad está, sin embargo, en la posibilidad de producción de nanopartículas de plata, con efectos bactericidas potenciados.

Las nanotecnologías surgen como herramientas que crean nuevos elementos químicos, materiales con propiedades físico-químicas diferenciadas y con potencial aplicación para el desarrollo de nuevos productos, debido a su minúsculo tamaño. Así, las nanotecnologías amplían las posibilidades de aplicación de la plata y, quizá, su eficacia, pues se investiga si la plata puede tener su efecto bactericida potenciado en función de su dimensión.

El entusiasmo, no obstante, está acompañado por la duda: si las nanopartículas de plata presentan características distintas del elemento químico plata (Ag), sus riesgos y su potencial toxicidad también son desconocidos.

A pesar de la incertidumbre y de la confusión sobre la definición de productos que realmente contienen nanoplata, el término es exaltado en la presentación de productos que ya están en el mercado, porque el prefijo nano es sinónimo de tecnología de punta, lo que agrega valor al producto.

En el Inventario de los productos en el mercado del PEN, aparecen en la categoría alimentos y bebidas, 41 productos con nanoplata. Los nanoalimentos listados en este inventario son producidos en Estados Unidos, China, Corea, Nueva Zelanda, Taiwan, Alemania y Argentina. Estos productos terminan llegando al mercado consumidor de Brasil, inclusive por medio de compras por Internet, dificultando cualquier control del Estado, y sin la correcta evaluación de la seguridad para el consumidor y el medio ambiente.

Estos productos destacan la protección antibiótica de la plata, así como los efectos de conservación y eliminación de ciertos olores en los alimentos y ambientes. La exposición humana a tales productos ocurre por las siguientes rutas: ingestión, contacto dérmico o inhalación. Sigue abajo una relación ejemplificativa de 30 productos con nanoplata, registrados en el inventario de PEN.¹

Cuadro 1

INVENTARIO PEN DE PRODUCTOS DISPONIBLES PARA CONSUMO²

| <i>Producto</i> | <i>Empresa, país, año</i> | <i>Presentación del producto por los fabricantes y principal vía de exposición</i> |
|-------------------------------------|---|---|
| 1) <i>Antibacterial Kitchenware</i> | <i>Nano Care Technology Ltd. China 2007</i> | Producto con revestimiento de nanoplata. Exposición por contacto dérmico o ingestión. |

¹El cuadro incluye 30 productos y no 41 porque se omitieron los que eran muy semejantes.

²Fueron utilizados los siguientes criterios de busca para la pesquisa: categoría: alimentos y bebidas; nanomaterial: plata.

| <i>Producto</i> | <i>Empresa, país, año</i> | <i>Presentación del producto por los fabricantes y principal vía de exposición</i> |
|--|--|--|
| 2) <i>BlueMoonGoods™ Fresh Box Silver Nanoparticle</i> | | |
| <i>Food Storage Containers</i> | BlueMoon LLC, Estados Unidos 2007 | Producto con revestimiento de nanoplata. Exposición por contacto dérmico o ingestión. |
| 3) <i>Colloidal Silver Cream</i> | <i>Skybright Natural Health, Nueva Zelanda</i> | Según información de PEN, se trata de un suplemento que promete beneficios para la salud. Se encuentra suspendido en líquido, y la exposición es dérmica. |
| 4) <i>ASAP Health Max 30</i> | <i>American Biotechs Lab</i> | Suplemento con nanopartículas suspendidas en líquido, con función antibiótica y exposición por ingestión. |
| 5) <i>Colloidal Silver Liquid</i> | <i>Skybright Natural Health, Nueva Zelanda, 2007</i> | Producto con nanopartículas suspendidas en líquido, con función antibiótica, exposición por ingestión. |
| 6) <i>Colloidal Silver Throat Spray</i> | Purest Colloids Inc., Estados Unidos 2013 | Suplemento con nanopartículas suspendidas en líquido, con función antibiótica, exposición por ingestión, contacto dérmico o inhalación. |
| 7) <i>Daewoo Refrigerator</i> | Daewoo (Germany), Corea | Refrigerador con revestimiento de nanoplata. Exposición por contacto dérmico o ingestión. |
| 8) <i>Digital Ultrasonic Fruit & Vegetable Cleaner MB-0598</i> | <i>Jiekang Technology (Shenzhen) Co., Ltd., China 2008</i> | Producto con revestimiento de nanoplata. Exposición por contacto dérmico o ingestión. |
| 9) <i>Food Container (NS)</i> | <i>A-DO Global, Corea, 2007</i> | Recipiente para alimentos con funciones antibióticas, nanopartículas localizadas en la superficie del producto. Exposición por contacto dérmico o ingestión. |
| 10) <i>Fresher Longer Miracle Food Storage</i> | S Sharper Image, Estados Unidos, 2007 | Producto con revestimiento de nanoplata. Exposición por contacto dérmico o ingestión. |
| 11) <i>Fresher Longer Plastic Storage Bags</i> | <i>Sharper Image</i> Estados Unidos 2007 | Producto con efecto de protección antibiótica. Nanopartículas localizadas en la superficie del producto. |
| 12) <i>MaatShop™ Crystal Clear Nano Silver</i> | <i>MaatShop</i> , Estados Unidos 2007 | Suplemento con nanopartículas suspendidas en líquido. Exposición por ingestión. |
| 13) <i>Marathon Ceramic Filter</i> | <i>Katadyn Asia Inc</i> , Corea 2008. | Filtro con revestimiento con nanoplata. Exposición por ingestión. |

Cuadro 1 (Continuación)

| <i>Producto</i> | <i>Empresa, país, año</i> | <i>Presentación del producto por los fabricantes y principal vía de exposición</i> |
|---|---|---|
| 14) <i>Maternal Water</i> | <i>La Posta del Águila. Córdoba, Argentina 2009</i> | Agua con efecto de protección antibiótica, indicada para gestantes y bebés. Exposición por ingestión. |
| 15) <i>MesoSilver</i> | <i>Purest Colloids Inc., Estados Unidos 2007</i> | Suplemento con indicación de uso para la salud, nanopartículas suspendidas en líquido, con exposición por la ingestión. |
| 16) <i>Nano Silver Baby Mug Cup</i> | <i>Baby Dream Co. Ltd., Corea 2007</i> | Producto para niños, con superficie revestida con nanopartículas. |
| 17) <i>Nano Silver Spray</i> | <i>SongSing Nano Technology Co. Ltd., Taiwan 2007</i> | Producto con nanopartículas suspendidas en el líquido. |
| 18) <i>Nano Silver NS-315 Water Bottle</i> | <i>A-DO Global</i> | |
| Corea 2009 | Producto revestido de nanopartículas. | |
| 19) <i>Nano-Silver Cutting Board</i> | <i>Pro-Idee GmbH e Co KG</i> | |
| Germany 2009 | Tabla de cortar alimentos, revestimiento con nanopartículas. Función: protección antibiótica. | |
| 20) <i>NanoSil™-10</i> | <i>Greenwood Consumer Products</i> | |
| Estados Unidos 2007 | Suplemento con nanopartículas suspendidas en líquido. | |
| 21) <i>Nurser</i> | <i>Baby Dream Co Ltd, Corea 2007</i> | Producto para niños, con función de protección antibiótica, revestido con nanopartículas de plata. |
| 22) <i>Primea Ring</i> | <i>Saeco Usa Inc., Estados Unidos</i> | <i>Nanotechnology: Standard on all Primea machines</i> asegura la no adherencia de la espuma de la leche a cualquier de los componentes internos de la máquina. |
| 23) <i>Quan Zhou Hu Zheng Nano Technology Co., Ltd. Nano-silver Storage Box (Baoxianhe)</i> | <i>Quan Zhou Hu Zheng Nano Technology Co., Ltd., China 2007</i> | Caja para almacenamiento de alimentos, con revestimiento de nanoplata. |

| <i>Producto</i> | <i>Empresa, país, año</i> | <i>Presentación del producto por los fabricantes y principal vía de exposición</i> |
|--|---|--|
| 24) <i>Samsung Refrigerator</i> | <i>Samsung, Corea 2007</i> | Refrigerador con protección antibiótica. Exposición por ingestión y contacto dérmico. Revestimiento con nanoplata. |
| 25) <i>Silver-22TM</i> | <i>RBC Life Sciences, Estados Unidos 2007</i> | Producto con nanoplata suspendida en líquido, con protección antibiótica, para aplicaciones relacionadas a la salud. |
| 26) <i>SilverBiotcs</i> | <i>American Biotech Labs, Estados Unidos 2007</i> | Suplemento con nanopartículas suspendidas en líquido. Exposición por ingestión. |
| 27) <i>Silvix3</i> | <i>Natural Care Products, Estados Unidos 2007</i> | Suplemento suspendido en líquido, con efecto de protección antibiótica. Exposición por ingestión. |
| 28) <i>Sovereign Silver</i> | <i>Natural-Immugenics Corp., Estados Unidos 2007</i> | Producto con nanopartículas suspendidas en líquido, con efecto antibiótico. |
| 29) <i>Utopia Silver Supplements Advanced Colloidal Silver</i> | <i>Utopia Silver Supplements, Estados Unidos 2007</i> | Suplemento con nanoplata suspendidas en líquido. Exposición por ingestión. |
| 30) <i>Washer</i> | <i>3Ever Co Ltd., Corea 2008</i> | Producto con efectos de protección antibiótica. Suspendido en sólido, por revestimiento con nanoplata. Exposición por ingestión. |

Fuente: Proyecto sobre Nanotecnologías Emergentes (PEN).

Laboratorios en asociación con la academia han comenzado aplicaciones de nanotecnología a los alimentos en Brasil. La Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa) e investigadores de la Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), han elaborado revestimientos nanoparticulados para frutas y vegetales. Embrapa está desarrollando un revestimiento comestible, con pulpa de mango y nanofibras de celulosa (Azeredo *et al.*, 2009). Esta protección actúa contra el envejecimiento de vegetales y frutas, ayudando a prolongar la conservación de estos y evitar el desperdicio.

Investigadores de Unicamp, con la colaboración del Centro de Ciencias Naturales y Humanas de la Universidade Federal do ABC, en Santo André, e investigadores hindúes, en investigación financiada por el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq), están desarrollando una película de protección para frutas y hortalizas. Son utilizadas nanopartículas de plata que protegen los vegetales contra infección bacteriana. Además de esta función, la cobertura sirve como barrera de protección que reduce el

cambio de gases y la pérdida del agua, evitándose la putrefacción, pero permitiendo la maduración de las frutas y hortalizas. Tal protección es eliminada completamente por el lavado, según información de los investigadores (Duran *et al.*, 2010).

Además de los productos citados, que están en fase de desarrollo, pueden ser agregados los nanoproductos ya producidos y comercializados en Brasil, direccionados al mercado alimenticio y que son listados a continuación, todos ellos de la empresa Nanox (véase cuadro 2).

Cuadro 2
PRODUCTOS CON NANOPLATA EN EL MERCADO BRASILEÑO

| <i>Empresa</i> | <i>Local</i> | <i>Anuncio del producto por el fabricante</i> |
|--|-----------------------|--|
| Nanoxclean Embalajes | São Carlos, SP-Brasil | “Los embalajes pueden adquirir propiedades específicas, para proteger los productos que contiene, y no se restringe solamente a la función de protección y transporte. NANOXClean® es aplicado en embalaje y adquiere propiedades bactericidas que benefician productores y consumidores, como por ejemplo, el aumento del plazo de validez, reduciendo la necesidad de aditivos y conservantes ingeridos directamente en el producto, dejándolo más natural”. |
| Nanoxclean Tintas y barnices | São Carlos-SP, Brasil | “Tintas y barnices son parte de la decoración de cualquier ambiente. Sus composiciones son estudiadas con finalidades específicas, para atraer, repulsar, calentar, enfriar, acoger, de acuerdo con sus tonalidades y las necesidades de los establecimientos”. |
| Nanoxclean Pisos y revestimientos para el área alimenticia | | “El mercado de pisos y revestimientos para área alimenticia debe mostrarse cada vez más adecuado e higiénico, para evitar contaminaciones y proliferaciones de enfermedades. Por la exigencia de órganos reguladores, paredes y pisos necesitan ser fácilmente limpios y lavables. En el caso de los pisos, éstos tienen que ser lavables, antideslizantes y en tonalidades claras. Los revestimientos precisan ser lisos y lavables, aumentando la asepsia y la higiene de los locales que procesen, fabriquen o realicen la venta de alimentos”. |

| <i>Empresa</i> | <i>Local</i> | <i>Anuncio del producto por el fabricante</i> |
|--|--------------|---|
| Nanoxclean Cintas y líneas de procesamiento | | “Parte fundamental del procesamiento de alimentos, cintas y líneas de procesamiento, son locales donde hay gran concentración de hongos y bacterias, pues es allí que los microorganismos encuentran alimento (res-tos orgánicos) y condiciones ideales para fijarse y desarrollarse. Cuando eso ocurre contamina todo y cualquier tipo de alimento que allí va a pasar, para ser procesado. NANOXClean®, aplicado en esas piezas, ofrece protección contra microorganismos, dejando las piezas más limpias”. |
| Nanoxclean Bandejas | | “Bandejas destinadas al almacenamiento, exposición y transporte de alimentos son usadas en diversos sectores alimenticios (comercial, residencial e industrial). Su asepsia y las buenas prácticas de uso son fundamentales para la conservación y la manutención de la calidad de las piezas y de los alimentos en ella depositados”. |

Fuente: Antimicrobial Protection.

La lista presentada en el cuadro 2 forma parte de la línea de productos antimicrobianos llamada “Nanoxclean”, que posee autorización de Anvisa (agencia de vigilancia sanitaria brasileña) para el fin de conservación y embalaje de alimentos desde 2012. En 2013, Nanox obtuvo autorización de la FDA, agencia reglamentaria de alimentos y medicamentos de Estados Unidos, para comercializar productos bactericidas para la aplicación en embalajes plásticos de alimentos, preparándose para actuar en el mercado americano (Alisson, 2015a).

En noticia publicada el 12 de junio de 2015, Agrindus, empresa agropecuaria ubicada en São Carlos, en el interior de São Paulo —consiguió aumentar de 7 a 15 días el plazo de validez de la leche fresca pasteurizada tipo A que comercializa con la marca Letti en 45 ciudades del estado de São Paulo. Esto fue posible a través de la incorporación de micropartículas a la base de plata, con propiedad bactericida, antimicrobiana y autoesterilizante en el plástico rígido de las botellas utilizadas para envasar la leche producida por la empresa (Alisson, 2015b). La tecnología fue desarrollada por Nanox —una empresa de nanotecnología también localizada en São Carlos. La noticia destaca que al duplicar el tiempo de vida en los anaqueles, es posible obtener beneficios en la logística, almacenamiento, calidad y en la

seguridad del producto. El objetivo de la empresa, ya autorizada por la FDA es aumentar la participación en el mercado estadounidense, para comercializar el material bactericida aplicado en embalajes plásticos de alimentos.

Todo indica que los beneficios de la nanoplata son incontestables; desde otro ángulo, existe la necesidad de una mirada a partir de las investigaciones toxicológicas que destacan la imposibilidad de generalización sobre los efectos de la aplicación de las nanotecnologías a los alimentos.

El Informe de 2009 de la Organización *Friends of the Earth* (FOE) explica que los productos con plata pueden contener plata ionizada en estado coloidal o en forma de nanopartículas. En cualquiera de esas formas, la característica más importante del producto es su efecto bactericida, que dependerá de la concentración y de los iones de plata liberados (Senjen, 2009). El cuadro 3 resume los tipos de plata y sus diferencias.

Cuadro 3
TIPOS DE PLATA Y SUS DIFERENCIAS

| <i>Tipo de plata</i> | <i>Tamaño aproximado</i> | <i>Características</i> |
|--|--------------------------|--|
| Un átomo del elemento metálico | 0.288 nm | No encontrado como simple átomo en la naturaleza, apenas en estado agregado. |
| Ion de plata (plata en estado iónico) | 0.258 nm | Tóxico, soluble en agua, puede tener carga negativa o positiva. |
| Nanoplata | 1-100 nm | Puede liberar iones o ser tóxica, por sí misma |
| Plata coloidal | 1-1,000 nm | Una mezcla de diferentes tamaños de partículas, suspendidas en fluido, puede contener nanopartículas de plata, iones de plata o ambos. |
| Compuestos de plata inorgánica y sales de plata | Depende | No se disuelve fácilmente, pueden ser encontrados en tamaño nano. |
| Compuestos de plata orgánica, por ejemplo, proteínas de la plata | Depende | Casi imposible que sean disueltos |

Fuente: Informe de *Friends on Earth* (2009). Recuperado de <http://nano.foe.org.au/sites/default/files/FoE_nanosilver_report_textonly_0.pdf>

Deberá tenerse en cuenta esta categorización de la nanoplata cuando sea utilizada en alimentos, pues sus efectos en la interacción con el cuerpo humano y el medio ambiente serán diferentes. No basta con informar en la etiqueta que se trata de nanoplata; una correcta y completa información deberá considerar estas características.

La mayoría de los anuncios de productos con nanoplata menciona la plata ionizada que es tóxica para bacterias (Franco y Gonçalves, 2008) y para algunas especies de hongos y virus, y esto explica su efecto biocida (Senjen, 2009). Técnicamente, un ion de plata es un átomo de plata que perdió un electrón. Con el desplazamiento del electrón del átomo de plata, se transforma en ion de plata, que es soluble en agua, lo que lo diferencia de la plata metálica, que no es soluble en agua (Key y Mas, 2015). Además, en su forma iónica, la plata es altamente reactiva con otros elementos, lo que significa que estará lista para formar componentes. La ingestión de alta concentración de plata en la forma iónica, por ejemplo, podría potencialmente causar una condición llamada *argyria* (Silver, 2003), una permanente decoloración de la piel (Key y Mass, 2015).

Otra referencia que aparece mucho en los anuncios de productos con nanoplata es la plata coloidal. En esta forma, la plata debe contener partículas suspendidas de plata y, generalmente, contiene iones de plata disueltos. Soluciones que poseen solamente iones de plata no son coloides, y la alta calidad de coloides contiene un alto porcentaje de partículas de plata. De forma ideal, la plata coloidal no debe contener iones, ya que los iones de plata son positivamente cargados, y las partículas de plata, en suspensión coloidal, son negativamente cargadas (Key y Mas, 2015).

Existe mucha especulación sobre la toxicidad de la plata, independiente de la forma (plata coloidal, ion de plata o nanopartícula de plata) como es consumida. Se alega que la plata ionizada ha sido utilizada por muchos años, sin que hubiera perjuicio a la salud o al medio ambiente. Sin embargo, el volumen de consumo de plata, en particular, de nanopartículas de plata, en diversos productos, y el desecho de plata en el medio ambiente, no tiene precedentes. Los iones de plata no consiguen distinguir entre bacterias buenas o perjudiciales y exterminan cualquier bacteria, así su uso excesivo puede causar perjuicios al medio ambiente y a la salud humana y animal (Senjen, 2009). Existe una preocupación especial con nanopartículas de plata, debido a su tamaño reducido y a las alteraciones de sus propiedades. En este sentido, se señala que las nanopartículas menores poseen mayor área superficial, por lo tanto “pueden exhibir mayor toxicidad y mayor actividad microbicida, dado que liberan más iones Ag” (Nogueira, Paino y Zubolotto, 2013).

Sobre la base de esas características, estudios toxicológicos trabajan con distintas formas y concentraciones de plata. También hay que considerar que otros factores, como las condiciones del medio ambiente, el pH, la fuerza iónica y la carga eléctrica, influyen en la estabilidad de las nanopartículas

y “consecuentemente, en la dimensión y en los mecanismos de toxicidad, ya que nanopartículas de diferentes tamaños ejercen toxicidades diferentes” (Nogueira *et al.*, 2013).

El poder antibacteriano y antifúngico de las nanopartículas de plata ya está comprobado, pero la capacidad de penetración depende de su tamaño. Partículas menores tienen alto poder de penetración. Un estudio comparativo entre iones de plata y nanopartículas de plata demostró que la dimensión de las partículas hace la diferencia en cuanto a la capacidad de penetración y que, por lo tanto, desempeña un papel central en la actividad antimicrobiana (Duran *et al.*, 2010). Pequeñas partículas presentaron mayor actividad antimicrobiana que las grandes partículas. Ese estudio demostró que nanopartículas de 1-10 nm son más eficientes en sobrepasar membranas, y que las nanopartículas consiguen sobrepasar membranas bacterianas en minutos. Al final del test, nanopartículas fueron encontradas dentro de las bacterias, lo que demuestra su poder de penetración (Morones *et al.*, 2005).³

Son incontestables los resultados positivos de los efectos antimicrobianos obtenidos en los test con nanoplata. Sin embargo, algunos estudios también muestran efectos colaterales, en razón del pequeño tamaño y de las propiedades de las nanopartículas. La nanoplata puede ser inhalada o entrar en el organismo por contacto con la piel o por ingestión oral. Tras la absorción, las nanopartículas pueden diseminarse por diferentes órganos y tejidos del cuerpo. La inhalación es considerada la principal ruta de exposición a las nanopartículas (Kang *et al.*, 2011), y existe un consenso entre los investigadores de que el mayor riesgo de las nanopartículas para el hombre es debido a su inhalación. Estudios demostraron que la nanoplata, cuando es inhalada, puede ser bioacumulada en el cerebro y attingir otros órganos (Paschoalino, Jardim y Marccone, 2010). Nanopartículas de plata fueron detectadas en diversos órganos de ratas utilizadas en estas experiencias, siendo atingidos el pulmón, el hígado, los riñones, el bazo, el cerebro, el corazón y la sangre de ratas tras inhalación de nanopartículas (Takenaka *et al.*, 2001).

En cuanto a la absorción por la piel, un estudio, publicado en la revista *Nature Nanotechnology* por científicos de la Universidad de Washington, comprueba que experiencias simples, realizadas para la verificación de los

³Un indicador de la preocupación gubernamental por los potenciales efectos nocivos de las nanopartículas es la norma emitida en enero de 2015 con respecto de nanopartículas de oro por la FDA de los Estados Unidos, tendiente a orientar al productor. La norma Surface Characterization of Gold Nanoparticles for Nanomaterial Specific Toxicity Screening: FT-IR Method, es una de las primeras tentativas de la FDA por normar los productos de las nanotecnologías (FDA, 2015).

efectos de la absorción de nanopartículas por las células humanas, pueden presentar errores, ya que estas experiencias desconsideran que la posición de las células puede influir en mayor o menor absorción de nanopartículas y que nanopartículas más pesadas (como oro) pueden sedimentarse, llevando a una absorción más elevada (Xia, Chul Cho y Zhang, 2011). Investigadores afirman que nanopartículas pueden alcanzar la corriente sanguínea y, así, circular por todo el organismo, siendo distribuidas en células y órganos (Paschoalino, Jardim y Marcone, 2010). Existe información de que, cuando es absorbida por la piel, la nano plata puede causar daños a estructuras celulares fundamentales, como las mitocondrias (Paschoalino *et al.*, 2010).

La ingestión de nanopartículas puede ser voluntaria o involuntaria (por el consumo de agua, proveniente de aparatos para purificación de agua que utilizan nanomateriales filtrantes o desinfectantes, o por la ingestión de alimentos que tuvieron contacto prolongado con utensilios que contengan plata). Otra posibilidad es la ingestión voluntaria de alimentos con plata coloidal.

Las nanopartículas de plata pueden afectar el hígado, por el depósito de nanopartículas de plata en el órgano, lo que ya se comprobó en una investigación hecha con ratas, siendo también recientemente confirmando su toxicidad para células de este órgano en un experimento *in vitro* (Paschoalino *et al.*, 2010). Experiencias con ratas comprobaron la posible toxicidad de la nanoplata. Incluso en comparación con otros materiales, la plata fue considerada la más tóxica (Hussain *et al.*, 2005). En las experiencias fueron usadas nanopartículas de plata de tamaños distintos (15 y 100 nm). La exposición a las nanopartículas de plata por 24 horas resultó en la disminución de la función mitocondrial de las células expuestas, y las células, tratadas con dosis más altas sufrieron encogimiento celular y ganaron forma irregular (Hussain *et al.*, 2005).

La toxicidad de la nanoplata también fue evaluada *in vivo* en embriones de pez cebra, y los resultados muestran que las nanopartículas de plata pueden ser transportadas adentro de los embriones, a través del corion (membrana extraembrionaria), y que la biocompatibilidad y la toxicidad de nanopartículas de plata y tipos de anormalidades, observadas en el pez cebra son altamente dependientes de la dosis de nanopartículas de plata e interfieren en su desarrollo normal (Lee *et al.*, 2007).

Un estudio sobre la toxicidad de la plata, utilizada en revestimiento de frutas, indicó la degeneración celular en el hígado de ratas macho (Siqueira *et al.*, 2013). Un reciente estudio realizado por investigadores del Fraunhofer Institute for Molecular Biology and Applied Ecology e Institute of Geological

Sciences, de Alemania, encargado por el Sponsorship Programme, de la Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), evaluó los riesgos de la nanoplata aplicada en fertilizantes. La preocupación es que nanopartículas de plata contenidas en agua que es usada como fertilizante, no puedan ser removidas durante el proceso, ya que los centros de tratamiento no hacen tal remoción. El estudio concluyó que la nanoplata causa efectos tóxicos sobre los microorganismos del suelo y el ecosistema terrestre (Schlich *et al.*, 2013). Además, existe una acumulación de la nanoplata en el suelo, debido a su baja movilidad, y esta acumulación de material podrá superar el límite de la concentración tolerable en aproximadamente 50 años (Schlich *et al.*, 2013).

Investigadores de la Universidad de Missouri, Estados Unidos, publicaron en 2012 un estudio que demuestra la contaminación de peras por nanopartículas de plata. La investigación resalta que las nanopartículas de plata, que han sido muy utilizadas en la agricultura, pueden colocar en riesgo la salud de los consumidores. En este estudio, las peras fueron tratadas con nanopartículas de plata de diferentes tamaños (20 y 70 nm), y se concluyó que las nanopartículas menores penetraron en los frutos después de cuatro días de tratamiento, lo que no ocurrió con las más grandes (Zhang *et al.*, 2012).

Este panorama revela los cuidados que se deberán tomar en todo el ciclo de vida de los nanomateriales, especialmente las interacciones que podrán ocurrir, muchas aún desconocidas, entre esas partículas y el cuerpo humano y el medio ambiente. La bioacumulación es un fenómeno que podrá afectar a ambos. Se prevé que ambientes estuarinos y costeros sean el destino final de los nanomateriales, por lo tanto, el conocimiento con respecto a los efectos de estos compuestos sobre la biota que habita estos ambientes es de fundamental importancia para las decisiones de prevención o de reparación adecuada.⁴

⁴Los efectos de las nanopartículas sobre la vida de los peces y del ambiente marino es objeto de investigación del proyecto de investigación titulado “Nanotoxicología ocupacional y ambiental: subsidios científicos para establecer marcos regulatorios y evaluación de riesgos” (Red de Nanotoxicología financiada en Brasil con recursos del Ministerio de la Ciencia, Tecnología e Innovación (MCTI) y del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq)/Proceso 552131/2011-3). Algunas publicaciones procedentes de ese proyecto de investigación y que apuntan efectos tóxicos de las nanopartículas en peces y ambientes marinos son: Cordeiro, Lucas Freitas *et al.* (2014). Toxicity of fullerene and nanosilver nanomaterials against bacteria associated to the body surface of the estuarine worm *Laeonereis acuta* (Polychaeta, Nereididae), *Marine Environmental Research*, 99, 52-59; Britto, Roberta Socoowski *et al.* (2012). Effects of carbon nanomaterials fullerene C60 and fullerol C60 (OH)18-22 on gills of fish *Cyprinus carpio* (Cyprinidae) exposed to ultraviolet radiation. *Aquatic Toxicology*, 114-115. Recuperado de <www.elsevier.com/locate/aquatox>; Ogliari Dalferno, Gonzalo (mayo 2013). Intraperitoneal Exposure to Nano/Microparticles of Fullerene (C60) Increases Acetylcholinesterase Activity and Lipid Peroxidation

El consumidor necesita iniciarse en el conocimiento de las nanotecnologías y sus impactos en los productos que consume, incluyendo los alimentos.⁵ Al respecto, un proyecto de investigación desarrollado por diversos institutos de investigación pertenecientes a países europeos, busca la construcción de una *guía de buenas prácticas sobre los embalajes*: “el concepto de *NanoSafePack* proviene de la necesidad de promover la seguridad de los trabajadores que lidian con nanopartículas y para garantizar la seguridad de los nanocompuestos inseridos en el mercado, de acuerdo con la reglamentación europea, evitando colocar en peligro la salud de los consumidores y del ambiente” (Nano Safe Pack, 2015). En este concepto están contempladas las principales preocupaciones que se deben tener en toda producción, alimentos u otros productos, como la salud del trabajador y del consumidor y la atención con el medio ambiente. Vale decir, si el embalaje y su contenido atienden a estas presuposiciones, la vía ética de la innovación nanotecnológica está garantizada. Sin estas presuposiciones se deberá dudar sobre la caracterización de una efectiva “innovación”.

La red “Nanotoxicología ocupacional y ambiental: subvenciones científicas para establecer marcos regulatorios y evaluación de riesgos (MCTI/CNPq proceso 552131/2011-3)”, coordinada por el profesor doctor José M. Monserrat de la Universidad Federal do Rio Grande (FURG), Brasil, Instituto de Ciencias Biológicas (ICB), ha desarrollado innumerables trabajos sobre nanotoxicología, evaluando el riesgo potencial de los nanomateriales, el riesgo ocupacional y compilando la información nanotoxicológica generada para auxiliar en la elaboración de normas regulatorias y promover la difusión de los conocimientos generados por las actividades de la red. Una de sus recientes publicaciones abordó los efectos tóxicos inducidos por fullerenos y nanopartículas de plata en poliquetos y en las comunidades bacterianas que viven en su superficie, demostrando que una vez que los ambientes es-

in Adult Zebrafish (*Danio rerio*) Brain. *BioMed Research International*. [s.l.]: Hindawi Publishing Corporation; Ferreira, Jonsecler L. Ribas *et al.* (2014). Co-exposure of the organic nanomaterial fullerene C60withbenzo[a]pyrene in *Danio rerio* (zebrafish) hepatocytes: Evidence of toxicological interactions, *Aquatic Toxicology*, 147, 76-83, Recuperado de www.elsevier.com/locate/aquatox

⁵Sobre el etiquetado de los productos que hayan sido producidos a partir de las nanotecnologías, se destaca una normativa editada por el Parlamento Europeo, exigiendo la indicación de esa información en la etiqueta, es la preocupación que se informa en el ítem 15 del documento: Solicita que una protección adecuada de los consumidores y seguridad de los productos en los mercados de bienes de consumo producidos con nanotecnología u organismos genéticamente modificados. P7_TA(2013)0239. La New agenda for European consumer policy: PE500.621 European Parliament resolution of 11 June 2013 on a new agenda for European Consumer Policy (2012/2133 (InI)). Disponible en <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P7-TA-2013-0239+0+DOC+XML+V0//EN&language=EN>

tuarios y costeros representan el destino final para los nanomateriales, los conocimientos sobre los efectos de estos compuestos sobre la biota que vive en estos ambientes son de fundamental importancia para las decisiones de prevención o de reparación adecuada en estos hábitats, y que las nanopartículas de plata probaron ser potencialmente peligrosas para las bacterias, incluso en la ausencia de luz, o cuando parte de ella fue aglomerada en microescala (Marques *et al.*, 2013).

Aquí se tiene un rico espacio para la investigación científica, pues aunque las nanopartículas puedan presentar cierto grado de seguridad en el laboratorio, será necesario mayor certeza sobre su comportamiento cuando entre en contacto con el ser humano, por ejemplo, cuando sea ingerido, en el caso de los alimentos que contengan alguna utilización de la nanoplata, además de sus efectos cuando entre en contacto con el medio ambiente. Es prudente tratar los nanomateriales como potencialmente peligrosos hasta que exista toxicología suficiente y especificaciones para evaluaciones específicas de riesgo y peligro de cada nanomaterial. En este periodo emergente es necesario que se realicen acciones prudentes incluso para tener claridad sobre la extensión de la incertidumbre (Schulte *et al.*, 2014).

Primeros pasos en la regulación

Hay muchas controversias sobre la manera como se debe regular cualquier material que involucre las nanotecnologías, pues su reducido tamaño aún perjudica la realización de estudios conclusivos. Por lo anterior, hay pocas investigaciones sobre la detección de absorción de nanopartículas en el sistema digestivo humano. Y ahí surge una cuestión que no está, aún, recibiendo la debida atención: “si usted no consigue detectar la nanopartícula, no se puede medir la exposición o determinar el riesgo” (Report of the National Nanotechnology Initiative, 2015). ¿Será que eso autoriza la libertad en la comercialización de estos productos con nuevas características? La respuesta parece ser negativa. Indicación que no impide, en el momento actual, la amplia y creciente comercialización de productos con nanopartículas. Un abordaje constructivo de una buena regulación tiene que enfatizar la continuación de las investigaciones sobre potenciales riesgos, formas de exposición y de prevención, pero eso no ocurre de inmediato, y con relación a los productos con nanotecnología, ya estamos retrasados, y los productos ya están siendo consumidos (Invernizzi, 2015).

Según una de las conclusiones del Workshop realizado por las agencias gubernamentales estadounidenses que integran la National Nanotechnology Initiative (NNI), el actual cuadro reglamentario no es suficiente para evaluar los riesgos de los productos de consumo desarrollados a partir de las nanotecnologías, especialmente para las nanopartículas que están en uso en cosméticos, alimentos, aditivos alimentarios, etcétera (Report of the National Nanotechnology Initiative, 2015).

En abril de 2012, la agencia responsable por la alimentación y medicamentos de Estados Unidos Food and Drug Administration (FDA) divulgó dos documentos de orientación. Ambos tuvieron en cuenta los materiales deliberadamente manipulados (o las nanopartículas ingenieradas) hasta 1.000 nm en tamaño. El primer documento, que aborda los aditivos alimentarios, afirma que las nanopartículas ingenieradas “probablemente no serían reguladas”, por ser catalogadas bajo la categoría de las normas de los productos considerados como “generalmente reconocidos como seguros” (sigla en inglés: GRAS), volviendo estos materiales propensos a la evaluación formal de premercado (FDA, 2012). El segundo documento, que incluye cosméticos, sugiere que la industria debe revisar su prueba de seguridad utilizando un abordaje de “pruebas diferenciadas”, debido a las propiedades únicas de las nanopartículas ingenieradas (FDA, 2012). Sin embargo, existe poca adhesión voluntaria por parte de la industria para comunicar sobre la utilización de nanomateriales. En Estados Unidos existen muchas industrias que no informan a las agencias gubernamentales y, como consecuencia, abriéndose margen para dudas sobre el efectivo desarrollo de pruebas de evaluación y gestión de los riesgos (FDA, 2012 y Report of the National Nanotechnology Initiative, 2013). Tampoco los esfuerzos del Reino Unido y Dinamarca por utilizar registro voluntario han tenido éxito. Ese escenario evidencia la necesidad de regulación estatal, que comande y ordene, bajo pena de sanciones.

Francia exige que la industria informe, con la indicación de identidad, cantidad y uso de nanopartículas ingenieradas. Canadá tiene un sistema de informe de seguridad obligatorio para la importación y producción de nanopartículas ingenieradas en cantidad superior a 1 kg (FDA, 2012).⁶

La reglamentación de la Unión Europea sobre composición, propiedades y utilización de materiales en contacto con alimentos se basa en el Reglamento 1.935/2004. De acuerdo con este reglamento, cualquier mate-

⁶En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (sigla en inglés: EPA [*Environmental Protection Agency*]) abrió consulta pública en abril de 2015, sobre una norma que exigirá la elaboración de informes y la manutención de registros de determinadas sustancias químicas cuando son fabricadas o transformadas en nano escala (EPA, 2015).

rial u objeto destinado a entrar en contacto directa o indirectamente con los alimentos, debe ser suficientemente inerte para impedir que sustancias sean transferidas a los alimentos en cantidades suficientes que coloquen en peligro la salud humana, o provoquen alguna alteración inaceptable en la composición de los alimentos, o un deterioro de sus propiedades de composición. El reglamento es suficientemente amplio como para incluir la eventual migración de nanocomponentes de materiales de plástico en alimentos embalados (EPA, 2015).

Posteriormente, el Reglamento 10/2011 del 14 de enero de 2011 de la Unión Europea, disciplina la utilización de materiales plásticos y artificiales que entren en contacto con el alimento. El texto alerta sobre la necesidad de mayor cuidado en la evaluación de las nanopartículas, debido a sus nuevas propiedades físico-químicas. En el ítem 23 se puede leer:

Nuevas sustancias de tecnologías ingenieradas en la dimensión de las partículas que presentan propiedades químicas y físicas que difieren significativamente de aquellos en mayor escala, por ejemplo, nanopartículas. Estas distintas propiedades pueden llevar a distintas propiedades toxicológicas y, por lo tanto, estas sustancias deben ser evaluadas individualmente por la Autoridad respecto a su riesgo hasta que más información se sepa sobre esta nueva tecnología. Por eso, debe estar claro que las autorizaciones que tienen por base la evaluación de riesgo del tamaño de la partícula convencional de una sustancia no incluyen los nanopartículas (Comisión de Regulación de la Unión Europea, 2011).

También existe, en diversas partes del reglamento, preocupación por la dosis de migración del contenido del embalaje, o del recipiente para el alimento que embala o condiciona.

En Brasil existen dos proyectos de ley en discusión en la Cámara de los Diputados (Engelmann, 2015); Anvisa intenta salir de la inercia; y el Comité Interministerial de Nanotecnología sigue un lento ritmo.

Mediante la Ordenanza 1.358/2014 el director-presidente de Anvisa creó el Comité Interno de Nanotecnología (Anvisa, 2014). Entre sus atribuciones está la elaboración de normas o guías específicas para la evaluación y control de productos que utilizan nanotecnología. La ordenanza prevé la creación de un banco de datos sobre nanopartículas o nanomateriales relacionados con la salud y la elaboración de un plan de calificación, entre otras atribuciones. El Comité cuenta con la participación de 12 áreas técnicas y tendrá un año para desarrollar su trabajo. Esto permite concluir que Anvisa

aún no dispone de normas propias para la evaluación de productos que contengan alguna relación con las nanotecnologías.

En julio de 2012 fue creado el Comité Interministerial de Nanotecnología por la Ordenanza 510, con la finalidad de asesorar los ministerios en la integración de la gestión, en la coordinación y en la mejora de las políticas, directrices y acciones volcadas al desarrollo de las nanotecnologías. Cabe al comité, entre otras atribuciones, proponer mecanismos de acompañamiento y evaluación de actividades en el área, así como formular recomendaciones de planes, programas, metas, acciones y proyectos integrados para la consolidación y la evolución de estas tecnologías en el país, indicando potenciales fuentes de financiamiento y los recursos necesarios para apoyar proyectos de investigación, desarrollo e innovación (SBPC, 2013). Este comité aprobó, el 16 de diciembre de 2013, algunos de los principios que deben guiar el trabajo. Entre las indicaciones, está la definición de qué debe ser considerado nanotecnología, un reglamento de base científica, la atención a las recomendaciones de organismos internacionales, y la posibilidad de la implementación de más de una regulación —al considerarse lo complejo del área. La intención es que el nuevo marco legal remita las cuestiones relacionadas con la regulación a las agencias y órganos correspondientes, y dé al Comité la prerrogativa de implementar normas, ordenanzas y recomendaciones en cuestiones de investigación y desarrollo y aplicaciones de la nanotecnología. Otros aspectos discutidos por el comité son el etiquetado voluntario, el priorizar la información detallada en lugar de símbolos, el montaje de un sistema de infraestructura, y el establecimiento de un marco legal que estimule el desarrollo de la nanotecnología con responsabilidad (SBPC, 2013). El comité incluye los siguientes ministerios: Ciencia, Tecnología e Innovación; Agricultura, Ganadería y Abastecimiento; Defensa; Desarrollo, Industria y Comercio Exterior; Educación; Medio Ambiente; Minas y Energía; y, Salud, demostrando así la necesidad de lidiar con este tema de manera transdisciplinaria y buscando respuestas en las más distintas áreas del conocimiento. Sin embargo, queda la interrogante de la ausencia del Ministerio de Justicia, y la razón por la cual el Ministerio del Trabajo no formaba, inicialmente, parte de tal comité, sólo incorporado a finales de 2012 después de intensas discusiones.

En el escenario actual, la ley no acompaña la velocidad de la producción de novedades tecnológicas, por lo que el diálogo entre los agentes se vuelve una alternativa de generación de derecho, donde los marcos normativos y las respuestas jurídicas creadas deberán considerar la contribución de cada una de las fuentes, a través de un filtro de los controles de constituciona-

lidad y convencionalidad, con vistas siempre a la protección de los seres humanos y del medio ambiente.

A pesar de que cuestiones relacionadas con la salud tienen inmensa importancia, la falta de un acuerdo sobre cómo los nanomateriales deben ser tratados, impacta otros sectores, como el derecho, la ética y el comercio internacional. La inclusión de múltiples actores (industria, gobierno, aseguradoras, comercio, academia, organizaciones de normalización, medios de comunicación, consumidores y público, en general) es indicada por muchos como fundamental (Andrade, Amaral y Waissmann, 2013).

El reglamento no es un proceso técnico, en que la mejor ciencia es aplicada para establecer las normas más apropiadas, es un proceso que necesita la acción de diversos grupos, con distintos intereses y con poder desigual —políticos, científicos, empresarios, grupos sociales organizados, grupos sociales afectados— que se enfrentan y, muchas veces, las controversias científicas son utilizadas por los diversos actores para consolidar sus intereses (Invernizzi, 2015). En ocasiones, la regulación es organizada por lugares de trabajo, o tipo de sustancia, pero la nanotecnología implica sustancias, productos y líneas jurisdiccionales diferentes a las habituales, por lo cual la forma tradicional de organización no es suficiente (Dana, 2012: 7).

Conclusiones

Todos los resultados aquí destacados ponen de manifiesto que la preocupación por la toxicidad de la nanoplata no es infundada. Ésta puede destruir cualquier especie de bacteria, como puede promover la resistencia de otras, lo que es aún más preocupante. En particular, las nanopartículas de plata potencian los riesgos, por sus nuevas propiedades, por su gran capacidad de penetración y movilidad por células y órganos del cuerpo humano. Además, su utilización excesiva puede llevar a la acumulación de esa sustancia en el cuerpo humano, en la cadena alimentaria y en el medio ambiente, lo que puede ser perjudicial para la salud humana, animal y ambiental.

Los productos del área alimentaria en contacto con nanoplata ya están disponibles en el mercado. Las investigaciones nanotoxicológicas no son, sin embargo, concluyentes sobre la seguridad de su utilización en la producción alimenticia. Las promesas son grandes, pero los riesgos también están en la misma escala. Sin embargo, y a pesar de eso, el mercado de las nanotecnologías en alimentos continúa en desarrollo y crecimiento.

Ya en 2004 la Royal Society and Royal Academy of Engineering del Reino Unido había hecho un llamado para que la liberación de nanomateriales

en el medio ambiente sea “evitada en la medida de lo posible”, y prohibida su liberación intencional “hasta que investigación apropiada sea realizada y pueda ser demostrado que los potenciales beneficios superan los riesgos (Royal Society & Royal Academy of Engineering, 2004). A más de diez años de aquel llamado aún está sucediendo lo contrario; los nanomateriales están entrando en el ambiente a través de fertilizantes, pesticidas, residuos y aguas residuales, cursos de agua y diversos productos que contienen nanomateriales (Friends of the Earth-Australia, 2015).⁷

Paralelamente, estudios bibliográficos sobre artículos científicos dedicados a potenciales riesgos de los nanomateriales se vienen incrementando sostenidamente, aunque muchos de ellos llegan a resultados contradictorios (Krug, 2014); lo que complica la dificultad regulatoria. El reto es evaluar y validar las respuestas que las Ciencias Exactas están señalando. Las nanotecnologías traen consigo un colosal desafío: las ciencias duras o ciencias de la producción y áreas técnicas deberán dialogar con las ciencias humanas (ciencias blandas o ciencias de impacto) para establecer un puente entre las investigaciones en nanoescala y el destinatario final, que son las personas. Este es un panorama de desafío para el derecho, si consideramos que los institutos y criterios tradicionales son insuficientes para albergar los nuevos derechos y deberes que están siendo exigidos.

Fuentes consultadas

- ALDROVANDI, A., Berger Filho, A. G., Engelmann, W. y Hohendorff, R. V. (2014). Nanotecnologias aplicadas aos alimentos: construindo modelos jurídicos fundados no princípio da precaução. En T. E. M. Silva y W. Waissmann. *Nanotecnologias, Alimentação e Biocombustíveis: um olhar transdisciplinar*. Aracaju, SE: Criação.
- ALISSON, E. (2015a). *Tecnologia brasileira aumenta prazo de validade de alimentos*. Recuperado de <http://www.nanox.com.br/site/?p=266>
- _____. (2015b). *Empresa paulista dobra prazo de validade de leite fresco pasteurizado*. Recuperado de http://agencia.fapesp.br/empresa_paulista_dobra_prazo_de_validade_de_leite_fresco_pasteurizado/21325/
- ANDRADE, L. R. B., Amaral, F. G. y Waissmann, W. (2013). Análise de propostas de gestão de riscos em ambientes com atividades envolvendo nanomateriais. *Vigilância Sanitária em Debate*, año 1, núm. 4, 25-37.

⁷Un estudio norteamericano calculó que en 2010 alrededor de 260.000 a 309.000 toneladas de nanomateriales terminó en: enterramientos (63-91 por ciento), suelos (8-28 por ciento), masas de agua (0.4-7 por ciento), y en la atmósfera (0.1-1.5 por ciento). Este número está aumentando rápidamente (Friends of the Earth-Australia, 2015).

- Anvisa (2014). Portal Anvisa. *Portal Anvisa-Sala de imprensa*. Recuperado de <http://portal.anvisa.gov.br/wps/content/anvisa+portal/anvisa/sala+de+imprensa/menu+noticias+anos/2014+noticias/instituido+comite+interno+de+nanotecnologia+da+anvisa>
- AZEREDO, H.M.C., Miranda, K.W.E., Rosa, M.F. *et al.* (2012). Edible films from alginate-acerola puree reinforced with cellulose whiskers. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 294-297. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.09.016>
- BALLOUSHA, M., How, W., Valsami-Jones, E. y Lead, J. R. (2014). Overview of Environmental Nanoscience. En E. Valsami-Jones & J. R. Lead (Eds.). *Nanoscience and the Environment*. Oxford: Elsevier, 1-2.
- BEHAR, A., Fugere, D. y Passoff, M. (2013). *Slipping Through the Cracks: an Issue Brief on Nanomaterials in Food*. Oakland, Califórnia: As You Sow. Recuperado de www.asyousow.org/health_safety/nanoissuebrief.shtml
- BRITTO, R.S., Garcia M.L., Rocha M.A., Flores J.A., *et al.* (2012). Effects of carbon nanomaterials fullerene C60 and fullerol C60(OH)18 22 on gills of fish *Cyprinus carpio* (Cyprinidae) exposed to ultraviolet radiation. *Aquatic Toxicology*. 2012; 114-115: 80-87. doi: 10.1016/j.aquatox.2012.02.018
- BUMBUDSANPHAROKE, N. y Ko, S. (2015). Nano-Food Packaging: An Overview of Market, Migration Research, and Safety Regulations. *Journal of food Science*, 80(5), 910-923.
- BUZBY, J. C. (2010). Nanotechnology for food applications: more questions than answers. *The Journal of Consumers Affairs*, [S.l.], 44(3), 528-545.
- Comisión de Regulación de la Unión Europea (15 de enero de 2011). Regulation. *Official Journal of the European Union*, vol. 1 12(1). Recuperado de <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:012:0001:0089:EN:PDF>
- DANA, D. A. (2012). *The Nanotechnology Challenge: creating legal institutions for uncertain risks*. New York: Cambridge University Press.
- DURÁN, N., Marcato, P.D., Conti, R.D., Alves, O.L. *et al.* (2010). Potential use of silver nanoparticles on pathogenic bacteria, their toxicity and possible mechanisms of action. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 21(6), 949-959. <http://doi.org/10.1590/S0103-50532010000600002>
- ENGELMANN, Wilson (2015). Primeras tentativas de reglamentación de las nanotecnologías en Brasil. En G. Foladori, A. Hasmy, N. Invernizzi y E. Záyago Lau, *Nanotecnologías en América Latina: trabajo y regulación*. México: Miguel Ángel Porrúa.
- EPA (4 de junio de 2015). *Chemical Substances When Manufactured or Processed as Nanoscale Materials; TSCA (Reporting and Record keeping Requirements Proposed Rule by the Environmental Protection Agency)* Recuperado de

- <https://www.federalregister.gov/articles/2015/04/06/2015-07497/chemical-substances-when-manufactured-or-processed-as-nanoscale-materials-tsca-reporting-and#h-19>
- FAO/WHO (2009). Expert Meeting on the Application of Nanotechnologies in the Food and Agriculture Sectors: Potential Food Safety Implications *MEETInG REPORT*. Recuperado de http://www.evira.fi/attachments/elintarvikkeet/elintarviketietoa/fao_who_nano_expert_meeting_report_final__2_.pdf
- FDA (2015). *Surface Characterization of Gold Nanoparticles for Nanomaterial Specific Toxicity Screening: FT-IR Method*. Recuperado de <http://www.raps.org/Regulatory-Focus/News/2015/02/10/21294/Small-Regulation-FDA-Adopts-Three-Nanotechnology-Standards-in-Last-Year>
- FERREIRA, J. L. R., Lonné, M. N., França, T. A., Maximilla, N. R. *et al.* (2014). Co-exposure of the organic nanomaterial fullerene C60withbenzo[a]pyrene in Danio rerio (zebrafish) hepatocytes: Evidence of toxicological interactions *Aquatic Toxicology*, 147, 76-83. <http://doi.org/10.1016/j.aquatox.2013.12.007>
- Food and Drug Administration (2012, April 25). Draft Guidance for Industry: Assessing the Effects of Significant Manufacturing Process Changes, Including Emerging Technologies, on the Safety and Regulatory Status of Food Ingredients and Food Contact Substances, Including Food Ingredients That Are Color Additives; Availability. *Federal Register*. Recuperado de <https://www.federalregister.gov/articles/2012/04/25/2012-9936/draft-guidance-for-industry-assessing-the-effects-of-significant-manufacturing-process-changes>
- FRANCO, D. y Gonçalves, L. F. (2008). Feridas cutâneas: a escolha do curativo adequado. *Revista Brasileira Colégio de Cirurgia*, 35, 203-206. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rcbc/v35n3/a13v35n3.pdf>
- Friends of the Earth-Australia (2015). Emerging tech project. *Environmental Impacts*. Recuperado de <http://emergingtech.foe.org.au/environmental-impacts/>
- GODWIN, H., Nameth, C., Avery, D., Bergeson, L. L. *et al.* (2015). Nanomaterial Categorization for Assessing Risk Potential to Facilitate Regulatory Decision-Making. *ACS Nano*. 9(7): 7215-7255.
- Helmuth Kaiser Consultancy (2015). *Nanofood 2040*. Recuperado de <http://www.hkc22.com/nanofood2040.html>
- HUSSAIN, S. M., Hess, K. L., Gearhart, J. M. *et al.* (2005). In vitro toxicity of nanoparticles in BRL 3A rat liver cells. *Toxicology in vitro* [S.l.], 19, 975-983. <http://doi.org/10.1016/j.tiv.2005.06.034>

- INVERNIZZI, N. (2015). *Algumas questões sobre a discussão em torno ao PL 6741/2013*. Comunicação pessoal.
- KANG, G. S., Gillespie, P. A., Gunnison, A., Moreira, A. L. *et al.* (2011). Long-term Inhalation Exposure to Nickel Nanoparticles Exacerbated Atherosclerosis in a Susceptible Mouse Model. *Environmental Health Perspectives* [S.l.], 119(2), 176-181, <http://doi.org/10.1289/ehp.1002508>
- KEY, F. y Mass, G. (2015). *Ions, Atoms e Charged Particles*. Recuperado de <http://www.silver-colloids.com/Papers/IonsAtoms&ChargedParticles.pdf>
- KLAINE, S. J. Koelmans, A. A., Horne, N., Carley, S. *et al.* (2012). Paradigms to Assess the Environmental Impact of Manufactured Nanomaterials. En *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(1), 3-14, <http://doi.org/10.1002/etc.733>
- KRUG, H. F. (2014). Nanosafety Research-Are we on the right track? In: *Ange wandte Chemie International Edition*, Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 53, 12304-12319.
- LEE, K. J. *et al.* (2007). In Vivo Imaging of Transport and Biocompatibility of Single Silver Nanoparticles in Early Development of Zebrafish Embryos. *ACS Nano*, 1(2), 133-143.
- MARQUES, B. F., Cordeiro, L. F., Kist, L. W., Bogo, M. R. *et al.* (2013). Toxicological effects induced by the nanomaterials fullerene and nanosilver in the polychaeta *Laeonereis acuta* (Nereididae) and in the bacteria communities living at their surface. *Marine Environmental Research*, 89, 53-62. <http://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.05.002>
- MARTINS, P. R., Dullely, R., de Fatima Ramos, S., Alves e Nogueira, E. *et al.* (2015). *Nanotecnologias na indústria de alimentos*. Recuperado de http://www.pucsp.br/eitt/downloads/vi_ciclo_paulomartins_marisabarbosa_nano_puc.pdf
- MORONES, J. R., Elechiguerra, J. L., Camacho, A. *et al.* (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology* [S.l.], 16(10), 2346-53. <http://doi.org/10.1088/0957-4484/16/10/059>
- Nano Safe Pack (2015). *Safe Handling and Use of Nanoparticles in Packaging*. Recuperado de <http://www.nanosafepack.eu/>
- Nanoxclean Antimicrobial Protection (2015). *Mercados e produtos*. Recuperado de http://www.nanoxclean.com.br/br_mercados_alimenticio_01.html
- NOGUEIRA, P. F. M., Paino, I. M. M. y Zucolotto, V. (2013). Nanosilver: Propriedades, Aplicações e Impactos na Saúde Pública e Meio Ambiente. *Vigilância Sanitária em Debate*, Brasília, 1(4), 59-71.
- OECD (2013) Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. *Recommendation of the Council on the Safety Testing and Assessment of*

- Manufactured Nanomaterial*, p. 107. Recuperado de <http://acts.oecd.org/Instruments/ShowInstrumentView.aspx?InstrumentID=298&InstrumentPID=314&Lang=en&Book=False>
- OGLIARI DAL FORNO, G. (2013). Intraperitoneal Exposure to Nano/Microparticles of Fullerene (C60) Increases Acetylcholinesterase Activity and Lipid Peroxidation in Adult Zebrafish (*Danio rerio*) Brain. *BioMed Research International* [S.l.].
- PASCHOALINO, M. P., Jardim, W. F. y Marcone, G. P. S. (2010). Os nanomateriais e a questão ambiental. *Química Nova*, São Paulo, 33(2), 421-430.
- POURZAHEDI, L. y Eckelman, M. J. (2015). Environmental Life Cycle Assessment of Nanosilver-Enabled Bandages. In: *Environmental Science Technology*, 49(1), 361-368.
- Project on Emerging Nanotechnologies (2015). Consumer Products Inventory. Recuperado de <http://www.nanotechproject.org/cpi/search-products/>
- Report of the National Nanotechnology Initiative (2015). *Stakeholder Perspectives on Perception, Assessment, and Management of the potential risks of nanotechnology*. NNI Workshop Reports.
- Royal Society & Royal Academy of Engineering (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. London: Royal Society & Royal Academy of Engineering.
- SBPC (17 de diciembre de 2013). *Jornal da Ciência*, Recuperado de <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.php?id=91278>
- SCHLICH, K., Klawonn, T., Terytze, K. & Hund-Rinke, K. (2013). Hazard assessment of a silver nanoparticle in soil applied via sewage sludge. *Environmental Sciences Europe*, 17(25).
- SCHULTE, P. A., Geraci, C. L., Murashov, V. *et al.* (2014). Occupational safety and health criteria for responsible development of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 16(1). <http://doi.org/10.1007/s11051-013-2153-9>
- SENJEN, R. Australia Friends of Earth, US Friends of the Earth (2009). *Nano and biocidal silver: extreme germ killers present a growing threat to public health. Report*. Recuperado de http://nano.foe.org.au/sites/default/files/FoE_nanosilver_report_textonly_0.pdf
- SILVER, S. (2003). Bacterial silver resistance: molecular biology and uses and misuses of silver compounds. *FEMS Microbiology Reviews*, 27, 341-353.
- SIQUEIRA, M. C., Aouada, M.; Castro, V. *et al.* (2013). Caracterização e avaliação da toxicidade de nanopartículas de prata para incorporação em matriz polimérica para uso em embalagens de alimentos. In: *Workshop*

- de Nanotecnologia aplicada ao agronegócio*, 7. Embrapa, São Carlos. Recuperado de <http://www.redeagronano.cnptia.embrapa.br/pc6-pa2-gerenciamento-de-riscos-das-nanotecnologia-aplicacoes-do-metodo-gmp-ram-ao-ciclo-pdca>
- SONG, H., Li, B., Lin, Q. B., Wu, H. J. & Chen, Y. (2011). Migration of silver from nanosilver-polyethylene composite packaging into food simulants. *Food Addit Contam*, 28(12), 1758-62.
- TAKENAKA, S., Karg, E., Roth, C. *et al.* (2001). Pulmonary and Systemic Distribution of Inhaled Ultrafine Silver Particles in Rats. *Environmental Health Perspectives*. 109(4), 547-551.
- XIA, Y., Chul C., E. & Zhang, Q. (2011). The effect of sedimentation and diffusion on cellular uptake of gold nanoparticles. *Nature Nanotechnology* (6), 385-391.
- ZHANG, Z., Kong, F., Vardhanabhuti, B., Mustapha, A. & Lin, M. (2012). Detection of Engineered Silver Nanoparticle Contamination in Pears. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 60(43), 10762-10767.

Políticas de innovación para la transferencia de conocimiento en México. La experiencia de una empresa de gestión y desarrollo de negocios con nanotecnología

Mónica Anzaldo*

Pilar Montoya**

Andrés Gómez***

Introducción

Desde hace más de una década México ha estado impulsando la generación de conocimiento en nanociencias y nanotecnología (NT) a través de distintos instrumentos de fomento a la innovación y, aunque se carece de una estrategia sectorial y nacional para esta tecnología, el mandato de la Política de Ciencia, Tecnología e Innovación (PCTI) es apuntalar la comercialización del conocimiento científico que se produce en las instituciones de educación superior. Por otra parte, si bien, no se puede afirmar que en el país exista una industria nanotecnológica, algunos estudios documentan el uso creciente de nanomateriales en las empresas, o incluso, el desarrollo de nuevos materiales y aplicaciones.

Uno de estos estudios es la encuesta INEGI-Conacyt sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico y Módulo sobre Actividades de Biotecnología y Nanotecnología (ESIDET-MBN-2012). Esta encuesta encontró que 188 empresas del sector productivo mexicano hicieron uso de las NT en el periodo 2010-2011, y dentro de este grupo, las herramientas nanotecnológicas de mayor uso fueron los equipos y técnicas de análisis, control y medida; equipos y técnicas de (nano) fabricación, manipulación e integración, seguido de los nanomateriales y los nanodispositivos. En cuanto a los sectores de aplicación, las nanotecnologías fueron utilizadas principalmente en sectores tradicionales, le siguen las aplicaciones en el sector salud y biotecnología, luego de la electrónica, transporte, energía y medio ambiente. En cuanto a

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

**Viretec Gestión y Desarrollo, S. A. de C. V. San Luis Potosí, México.

***Viretec Gestión y Desarrollo, S. A. de C. V. San Luis Potosí, México.

los recursos económicos, la encuesta encontró que el gasto total del sector productivo en Investigación y Desarrollo Tecnológico en Nanotecnología en 2011 fue de 1'005,415 miles de pesos (INEGI-Conacyt, 2012).

En otro estudio, se identificaron un menor número de empresas que utilizan o sintetizan nanomateriales en sus procesos productivos. Con este estudio concluyeron que en el país, el encadenamiento productivo de las NT está en ciernes y quienes utilizan nanomateriales, es porque son filiales de empresas transnacionales de países en donde su aplicación está más difundida (Záyago y Foladori, 2012: 156).

Considerando ambos estudios puede verse que las NT se encuentran lejos de ser una plataforma que esté imprimiendo una nueva dinámica a los sectores industriales del país, sin embargo, existen grupos de investigación llevando a cabo esfuerzos en la generación de conocimiento de tipo fundamental en esta área, así como el interés por desarrollar aplicaciones por parte de investigadores y empresas.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es indagar, a partir de un estudio de caso, de qué manera los actuales instrumentos de política de innovación posibilitan la generación de innovaciones con NT en el sector productivo mexicano. Con este objetivo se plantean las siguientes preguntas: ¿qué capacidades (conocimientos, experiencias, infraestructura y recursos) requieren las microempresas para hacer uso de los instrumentos de política? y ¿de qué manera las políticas de ciencia, tecnología e innovación definen las estrategias de negocio de una microempresa?

En particular se analiza el caso de Viretec Gestión y Desarrollo, S. A. de C. V. (en adelante Viretec) una empresa que, de acuerdo con número de trabajadores y ventas, se clasifica como pequeña y mediana empresa (PYME), fundada en 2011 para desarrollar productos innovadores a partir del uso de tecnologías emergentes y que transfiere conocimiento a otras empresas para la comercialización de productos. Por transferencia de conocimiento entendemos el uso del conocimiento por parte de las empresas u organismos del sector público, principalmente a través del licenciamiento de la tecnología. La selección de esta empresa obedece a que su estrategia de desarrollo de proyectos ha residido en diversos programas gubernamentales de estímulo a la innovación y está altamente vinculada con los generadores de conocimiento, universidades y centros de investigación.

Viretec se ubica en San Luis Potosí (SLP), ciudad situada en el centro-norte del país, y cuyos sectores industriales más importantes son la fabricación de maquinaria y equipo, la industria alimentaria de bebidas y tabaco, y el sector metalmecánico, siendo las ramas de mayor importancia los equipos

electrónicos y accesorios para automóviles (INEGI, s.f.). Es de resaltarse que la entidad comienza a destacar como un lugar con ciertas ventajas para las actividades de innovación. De acuerdo con el *ranking* nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (CTI) 2013, SLP se ubica en la posición número 16, destacando por su desempeño en infraestructura académica y de investigación, en donde la entidad cuenta con 76 instituciones de educación superior, 79 programas de postgrado integrados al PNP-CONACYT y es sede de seis centros públicos de investigación (FCCT, 2014). En este sentido, el trabajo empírico realizado en esta investigación permitirá hacer algunas inferencias sobre las barreras e incentivos que tiene esta nueva tecnología en un contexto local, distinto al de los grandes conglomerados industriales del país, como pueden ser el Distrito Federal, Puebla o Nuevo León.

El trabajo se desarrolla de la siguiente manera, después de esta introducción, se presenta una breve descripción del portafolio de instrumentos de fomento a la innovación, disponibles para el desarrollo de las NT en el país, señalando la visión de política que subyace a estos instrumentos, en seguida se desarrolla el caso de estudio Viretec, para posteriormente concluir con algunas reflexiones.

Financiamiento federal para la transferencia de conocimiento en nanotecnologías

El marco general de la política nacional de CTI reconoce como innovación el “generar un nuevo producto, diseño, proceso, servicio, método u organización, o añadir valor a los existentes (LCyT, 2014: 4). El Programa Especial de CTI es más puntual al añadir que una innovación, ya sea de producto o proceso, es aquella que ha sido introducida en el mercado e involucra una serie de actividades científicas, tecnológicas, organizacionales, financieras y comerciales (CONACYT, 2014: 97). La innovación así comprendida es un proceso que se suscribe a la empresa y que se materializa en un producto o servicio comercializable. Entender la innovación de esta manera se basa en la idea ampliamente aceptada de que aquellos gobiernos que fomentan la innovación en el sector privado, van en el camino correcto para asegurar la competitividad y el crecimiento económico.

En otros países se ha dado cabida a un marco conceptual de la innovación que no necesariamente conlleva una utilidad comercial o ganancia privada. Nociones como *tecnologías sociales*, *tecnologías para la inclusión social* en Argentina y Brasil (Thomas, Fressoli y Becerra, 2012), de *innovación social* en España y otros países europeos (Echeverría, 2008), son ejemplos del surgimiento de

miradas alternativas al concepto de innovación para la competitividad. Dichas nociones surgen de quienes objetan la idea de que la ciencia promueve necesariamente el crecimiento económico y en cambio argumentan, que la apropiación del conocimiento científico perpetúa las desigualdades sociales (Dagnino, 2010).

En México, desde finales de la década de los noventa y con mayor énfasis a partir de los dos últimos gobiernos, la política pública de ciencia y tecnología (CYT) adopta como enfoques paradigmáticos los conceptos de *sistema de innovación*, cuyas bases teóricas se encuentran en la economía evolucionista, el modelo *triple hélice* de Etzkowitz y Leydesdorff (1997) y el *enfoque de redes*. Estas perspectivas comparten la noción de que la innovación es un proceso no lineal y relacional que requiere para su correcto funcionamiento la colaboración entre actores para que el conocimiento fluya, se transfiera y se use. Los actores principales de la innovación son las empresas, los científicos de universidades y centros de investigación, el gobierno, el sector financiero y el mercado. La idea es que tanto el sector privado como el sector científico se nutran de la interacción para generar las innovaciones que tengan una aplicación productiva. Como sostienen Corona *et al.* (2013: 23):

La interactividad es la clave para un SNI sólido y de buen desempeño. También es importante para la política de CTI promover y sostener la creación y difusión del conocimiento, y su uso como un mecanismo interactivo y de auto-refuerzo que guíe la generación de capacidades de CTI, la operación del sistema de CTI y su correspondencia con las dinámicas de los sistemas sociales y económicos.

Diversos estudios sobre el sistema de CTI mexicano señalan como déficit central su carácter fragmentado y escasa comunicación e intercambio de conocimientos entre los actores. En particular, sobre los instrumentos de política utilizados para incentivar la participación de las empresas, se señalan las siguientes deficiencias:

1) la mayoría de los instrumentos atienden a las últimas etapas de la investigación y desarrollo (I+D), que corresponden a actividades de post I+D (última fase del desarrollo avanzado y el desarrollo para la comercialización), y a actividades de innovación no basadas en I+D; 2) los instrumentos introducidos fomentan a las empresas que ya tienen alguna capacidad de I+D e innovación, pero no hay instrumentos para aumentar la base de empresas que realizan estas actividades; 3) no hay instrumentos para estimular

la demanda de productos innovadores; 4) no se introducen instrumentos para la transferencia, asimilación y mejora de tecnologías existentes en México o en el extranjero (Dutrénit *et al.*, 2010: 202).

En este marco, se observa que los instrumentos que buscan favorecer la innovación se han ido afinado para promover y materializar las interacciones entre los actores (vinculación academia-empresa), tal es el caso de las llamadas Unidades de Vinculación y Transferencia de Conocimiento, a través de las cuales se busca: cerrar las brechas de entendimiento entre académicos y empresarios —quienes tienen diferentes lenguajes, prácticas y objetivos—, traducir las problemáticas de la industria a los académicos, articular la oferta y demanda de conocimiento científico, brindar asesoría en la protección de la propiedad intelectual, hacer vigilancia y gestión tecnológica, y en general, ayudar a coordinar los esfuerzos de los actores de la innovación.

También se aprecia que las políticas de innovación han venido dando mayor peso a que los científicos de las universidades y centros de investigación tengan objetivos híbridos entre los valores académicos y los valores del emprendurismo. Cada vez es más frecuente que los investigadores quieran crear sus propias empresas a partir de los resultados del laboratorio, e impulsen este cambio de actitud en sus estudiantes. La reciente iniciativa de reformas a los artículos 40 Bis y 51 de la *Ley de Ciencia y Tecnología* y el artículo 8º de la *Ley de Responsabilidades Administrativas de los Servidores Públicos* se orienta a ese camino, se trata de una reforma que estimula el emprendurismo científico y la vinculación con la industria, pues pretende proveer un marco jurídico explícito para que los investigadores, que hasta ahora se rigen por las normas de los servidores públicos, puedan recibir ganancias por concepto de regalías y licenciamiento de sus invenciones y participar como socios accionistas de empresas de base tecnológica, etcétera (Senado de la República, 25 de marzo de 2015).

En este contexto de la política de innovación, las NT mantienen su carácter estratégico, el Programa Especial de CTI 2014-2018 establece siete áreas prioritarias, entre ellas el desarrollo tecnológico, cuyos temas estratégicos son el desarrollo de materiales avanzados y el desarrollo de nanomateriales y de nanotecnología. En un intento por conectar los esfuerzos de investigación y desarrollo, el programa vincula a las NT con el Programa Sectorial de Energía y con el Programa de Desarrollo Innovador de la Secretaría de Economía, sin embargo, esta orientación sigue siendo muy general, y se requiere la creación de un instrumento más específico, construido con los actores del desarrollo de las NT que muestre, sectores particulares, incentivos *ad hoc* y un sistema de evaluación de los avances en este campo. La Red

de Nanociencias y Nanotecnología, cuya vigencia ha sido renovada recientemente por el Conacyt, podría coordinar la elaboración de un proyecto de política pública mucho más integrado y estratégico, que reúna la visión de los académicos, los industriales, el gobierno y los ciudadanos. Los ejercicios de *foresight* y prospectiva continúan ausentes en la instrumentación de una política para las NT.

Por otra parte, hay que mencionar que el apoyo a las NT se ve favorecido por la mayoría de los fondos que gestiona el Conacyt y también por los programas de la Secretaría de Economía. Lo anterior no significa que la inversión pública sea alta o al menos considerable, de hecho es limitada y de orientación difusa, dado el rezago histórico de apoyo a la ciencia, así como por la ausencia de un instrumento específico de apoyo a esta tecnología, como recién se acaba de mencionar.

A continuación se presenta un resumen de algunos de los instrumentos de apoyo a la innovación y transferencia de conocimiento existentes a nivel federal, mismos que están disponibles para el desarrollo de aplicaciones nanotecnológicas (véase cuadro 1).

Cuadro 1
INSTRUMENTOS DE POLÍTICA DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA
DE CONOCIMIENTO

| <i>Institución</i> | <i>Instrumento</i> | <i>Dirigido a:</i> |
|--|---|--|
| 2007: Fondo de Innovación Tecnológica Secretaría de Economía-Conacyt (FIT) | <ul style="list-style-type: none"> • Apoya a empresas de base tecnológica de reciente creación cuyo desarrollo se base en la explotación de tecnología recientemente desarrollada o de algún novedoso descubrimiento científico (Ejemplo: <i>starts up</i>). • Apoya la creación y fortalecimiento de infraestructura científica, tecnológica y de innovación y la incorporación de especialistas con postgrado a la empresa. | Micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) y personas físicas con actividad empresarial |
| 2009: Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) del Conacyt | <ul style="list-style-type: none"> • Su objetivo es incrementar la inversión del sector privado en proyectos de I+D+i para el desarrollo de nuevos productos, procesos o servicios; La empresa aporta recursos a partir de la aportación gubernamental de subsidios directos. • Tiene tres programas INNOVAPYME PROINNOVA e INNOVATEC en los que se propicia la vinculación con al menos dos instituciones de investigación. • Fomenta la generación de propiedad intelectual. | Empresas micro, pequeñas, medianas y grandes |

| <i>Institución</i> | <i>Instrumento</i> | <i>Dirigido a:</i> |
|---|--|---|
| 2011: Fondo Sectorial para la Innovación Secretaría de Economía-Conacyt (FINNOVA) | <ul style="list-style-type: none"> • Apoya la Certificación de Oficinas de Transferencia de Tecnología (OTT). • Bonos para la innovación que apoyan la transferencia y comercialización del conocimiento generado en las IES y los centros de investigación. • Creación de nuevas empresas de base tecnológica, licenciamientos o nuevos negocios intensivos en el uso del conocimiento. • Bonos para la transferencia y comercialización del conocimiento: apoyos para acercar a las empresas al conocimiento técnico y a las habilidades de las instituciones generadoras de conocimiento a través de la contratación de servicios de consultoría. • Apoyos a proyectos propuestos por las organizaciones ganadoras del Premio Nacional de Tecnología e Innovación (PNTI). • Apoya capacitación para generar habilidades empresariales para la innovación (capacitaciones en gestión de la tecnología e implementación de procesos de innovación). | A empresas constituidas en México, a Instituciones de Educación Superior (IES) públicas y/o privadas, a Centros de Investigación (CI) públicos o privados, a organizaciones mexicanas públicas o privadas |
| 2015: Dictamen de modificaciones a la Ley de CyT y a la Ley de Responsabilidades Administrativas de los Servidores Públicos | Se reforman los artículos 40 Bis y 51 de la LCYT y el artículo 8º de la <i>Ley de Responsabilidades Administrativas de los Servidores Públicos</i> para permitir a los investigadores de instituciones de educación superior y centros de investigación y de la administración pública federal, se vinculen con el sector industrial reciban regalías de sus invenciones, participar como socios accionistas de empresas de base tecnológica, entre otras, sin incurrir en conflicto de intereses (Senado de la República 25 de marzo de 2015). | Investigadores de instituciones de educación superior y centros de investigación y de la administración pública federal |
| Programa de Desarrollo Innovador de la Secretaría de Economía 2013-2018 | Es el programa de la Secretaría de Economía y las entidades paraestatales agrupadas a ella que contiene las líneas de acción y programas de política de fomento industrial y de innovación. Integra programas como: <ul style="list-style-type: none"> –Innovación protegida: atiende mejoras a los servicios que ofrece el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual. –Instituto Nacional del Emprendedor (Inadem): que opera la Red Nacional de Apoyo al Emprendedor, facilitan el acceso a financiamiento y capital para emprendedores, escalamiento productivo; ingreso a mercados; acceso a información relevante, e incorporación de tecnologías. | Sector productivo en general |

Cuadro 1 (Continuación)

| <i>Institución</i> | <i>Instrumento</i> | <i>Dirigido a:</i> |
|--|--|--|
| 2013: Instituto Nacional del Emprendedor (Inadem) de la Secretaría de Economía | <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo, investigación y fabricación de prototipos. • Consultoría para el registro de patentes. • Capacitación para fomentar la cultura emprendedora. • Capacitación para el desarrollo de gestores de fondos de capital. • Apoyo para la incorporación de las TIC en las empresas. | Emprendedores, micro, pequeñas y medianas empresas |
| Programa para el Desarrollo de la Industria del Software PROSOFT 2.0 | <ul style="list-style-type: none"> • Programa de la Secretaría de Economía para el Desarrollo de la Industria del Software (PROSOFT 2.0): contribuir al crecimiento del sector de tecnologías de la información en México. | Personas físicas, empresas, instituciones académicas con carreras afines del sector de TI, organismos públicos descentralizados, privados o mixtos |
| Programa para el Desarrollo Tecnológico de la Industria (Prodiat): | <ul style="list-style-type: none"> • Programa de la Secretaría de Economía para el otorgamiento de apoyos de carácter temporal para la realización de proyectos que atiendan fallas de mercado. | Personas físicas o empresas |
| Premio Nacional de Tecnología e Innovación (PNTi) | <ul style="list-style-type: none"> • Reconoce a las empresas con procesos exitosos de gestión de tecnología e innovación. Lo entrega el Gobierno Federal desde hace 16 años. | Empresas |

Fuente: Conacyt, www.conacyt.gob.mx; Secretaría de Economía, www.economia.gob.mx

Viretec Gestión y Desarrollo. La experiencia de una *spin-off* del centro del país en la transferencia de conocimiento

Perfil de la empresa

Viretec es una PYME ubicada en la ciudad de SLP, creada en 2011 como *spin-off* de Metal Técnica, S. A. de C. V., una empresa con experiencia de varias décadas en el sector metalúrgico. Los fundadores de Viretec decidieron crear “una empresa independiente dedicada 100 por ciento a generar, integrar y comercializar desarrollos tecnológicos” (Gómez, 2015). Esta idea surgió a partir de que lograron desarrollar el proceso, la ingeniería y los equipos piloto para el reciclaje de metales no ferrosos y plástico de baterías plomo-ácido (principalmente baterías para automóviles) con menor consumo de agua

que las opciones disponibles en el mercado. Este desarrollo fue resultado, en parte, del acercamiento de sus fundadores a un centro público de investigación de la región, propiciado en gran medida, por las reglas de subsidio del programa de estímulos a la innovación que incentivaban la vinculación entre las empresas y centros de investigación. Como lo afirma el actual director de Viretec, Andrés Gómez:

Lo más importante, tal vez, fue reconocer la importancia de la vinculación con centros de investigación para el logro de los objetivos, así como nuestra capacidad de generar valor a partir de ella. A pesar de que tanto el Centro de Tecnología Avanzada de Querétaro (Ciateq), como nuestra empresa, tuvimos que superar algunas barreras de comunicación, ese año el trabajo en equipo entre el Centro de Investigación y Metal Técnica (ahora Viretec) dio resultados que superaron nuestras expectativas.

Aunque lograr reciclar el plomo, plástico y ácido sulfúrico de las baterías fue el problema tecnológico que lograron resolver, la segunda idea era hacer un desarrollo comercial con esos residuos. En palabras del director de Viretec (Gómez, 2015):

Aunque nuestro equipo logró el cometido aún quedaba un problema más, agregar valor al ácido sulfúrico resultante del proceso, fue así como el siguiente año nos planteamos nuevamente un reto, desarrollar un proceso de producción de sulfato de cobre a partir del ácido sulfúrico y algunos residuos de cobre disponibles en el mercado. En esa ocasión nos vinculamos con el Centro de Investigación y Desarrollo en Electroquímica (Cideteq) y aprovechando nuestro conocimiento en el sector de los metales y la oportunidad de que habían abierto el programa de estímulos a la Innovación, logramos obtener los recursos e impulsar este nuevo desarrollo.

Es así que la misión actual de Viretec es “Desarrollar innovaciones que generen nuevas oportunidades de negocio a través de soluciones sustentables a los retos ambientales, sociales y tecnológicos que enfrenta el planeta” (Gómez, 2014). Además, la empresa ha formulado un conjunto de valores que considera orientativos para elegir los proyectos que va a emprender. De acuerdo con su director:

Viretec es una empresa en la que existe en cada uno de sus integrantes, el compromiso de lograr los resultados que les exige cada reto, en la que pueden trabajar con libertad conscientes de la responsabilidad que implican los

impactos generados por nuestros desarrollos. Siempre abierta al conocimiento y consiente de las habilidades y el potencial, reconociendo que un buen resultado, se sustenta en el respeto a las ideas ajenas, en la creatividad y en el trabajo en equipo, así como en la búsqueda de ganar-ganar y de una congruencia de los objetivos con el respeto a las generaciones futuras.

El primer filtro que tiene que pasar la evaluación de sus proyectos de desarrollo tecnológico es que deben tener un beneficio social o ambiental

cuando alguien nos propone un proyecto nos interesa que no sólo obtengamos una ganancia económica sino que el proyecto tenga como resultado un beneficio social como llevar un producto tecnológico más económico a un lugar donde de otra manera no llegaría, o bien, que sea un desarrollo cuyo valor agregado sea reducir impactos al medioambiente. Nos interesan sólo proyectos que tengan impacto positivo ambiental o social (Gómez, 2015).

Portafolio de productos

Actualmente, la empresa se enfoca al desarrollo de proyectos intensivos en conocimiento científico, como las NT o la biomédica, y también en segmentos tradicionales como la recuperación de humos de la industria metalúrgica o el aprovechamiento de los lodos papeleros. Esto lo realiza a través de tres tipos de servicios (Gómez, 2014):

- *Proyectos de mejora:* Son proyectos de ahorro y solución de problemas en equipos o procesos y procedimientos ya existentes, que pueden abarcar, desde el diseño y la ingeniería hasta la fabricación y el montaje.
- *Proyectos tecnológicos:* Son todos aquellos proyectos que nacen de nuestro sistema de vigilancia tecnológica o nuestra experiencia, y que pasan por un proceso de conceptualización, fabricación de prototipos, pruebas, diseño, ingeniería y escalamiento, apegados a procedimientos que nos permiten usar o replicar la tecnología para su aprovechamiento o transferencia.
- *Creación de nuevos negocios:* Son proyectos de creación de empresa, que parten de los desarrollos exitosos de tecnología y las oportunidades de negocio que se identifican en las ventajas competitivas que ofrezca la innovación. El entregable de esta actividad es el plan de negocio del producto desarrollado.

En cuanto a la estructura, organizacional la empresa sigue el modelo por competencias y participación de resultados. No muestran un organigrama,

aunque los dos socios fundadores hacen funciones directivas y tienen empleados con funciones fijas, principalmente en las áreas administrativas. Los proyectos se desarrollan a partir de una matriz de competencias técnicas, administrativas, de planeación y dirección. La empresa tiene nueve empleados de base especializados en áreas como ingeniería química, ingeniería metalúrgica, ingeniería mecánica, ingeniería industrial, ingeniería eléctrica, diseño, control y nanotecnología, entre otros.

Lo que distingue a la empresa, es que puede emprender proyectos, aún sin contar dentro de sus recursos humanos con personas especialistas en el tema, la empresa fortalece sus capacidades a partir de vinculaciones con investigadores de universidades y centros de investigación y de otros empresarios o consultores. De acuerdo con su director:

En Viretec creemos firmemente en el trabajo en equipo, la participación en redes y las vinculaciones efectivas con industria, gobierno y academia, como nuestras principales herramientas de crecimiento y desarrollo tecnológico. Como parte de la labor de habilitación, dentro de nuestro modelo de gestión, la empresa cuenta con más de 10 alianzas estratégicas con centros de investigación y desarrollo tecnológico afines a nuestro portafolio de proyectos.

Valor agregado a la minería: el proyecto CuVito, camino largo a la transferencia de conocimiento¹

El proyecto Nano-structured copper coatings, based on Vitolane technology, for antimicrobial applications, en adelante CuVito, es uno de cuatro proyectos aprobados en 2010 por el fondo Conacyt-Comisión Europea en nanociencias, nanotecnologías, materiales y producción de nuevos materiales,² el cual apoyó consorcios entre México y países de la Unión Europea para desarrollar productos con valor agregado para la minería a nivel de nanoestructuras. Como requisito, los consorcios deberían estar formados por centros de investigación y pequeñas o medianas empresas. Por parte de México el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) de Coahuila resultó beneficiado como líder del proyecto CuVito, y fue éste centro de investigación quien invitó a Viretec a formar parte del consorcio. De acuerdo con el director de Viretec:

¹Esta sección fue elaborada con la contribución de la líder técnica en Viretec del proyecto CuVito.

²Convocatoria llevada a cabo con fondos del Programa Marco de Investigación y Desarrollo de la Unión Europea.

el CIQA se dio a la tarea de localizar una empresa que tuviera conocimientos sobre procesos productivos del cobre y sus derivados, que estuviera inscrita ante el RENIECYT y contara con experiencia en el desarrollo de proyectos de innovación. Viretec se encontraba en una situación privilegiada para participar en ese nuevo proyecto internacional (Gómez, 2015).

El consorcio se constituyó de la siguiente manera: por parte de México, el CIQA (líder de la parte mexicana), la Universidad de Guanajuato, Metal Técnica-Viretec. Por parte de Europa, TWI (Centro de investigación Líder de la parte europea) y la empresa Thomas Swan & Co. Ltd., de Inglaterra; el Instituto Leibniz para Nuevos Materiales, de Alemania y la empresa Cyanine Tecnologías, de Italia. TWI fue quien desarrolló la tecnología Vitolane, la cual permite retener las nanopartículas de cobre en la estructura para proporcionar una funcionalidad antibacteriana y no lixiviarse al medio ambiente.

El proyecto CuVito fue aprobado con un monto de 1'993,334 euros (incluye aportaciones concurrentes de Europa y México) para desarrollar un nuevo recubrimiento antibacteriano nanoestructurado basado en cobre para combatir infecciones nosocomiales. Dicho recubrimiento debía ser una alternativa viable a los recubrimientos antibacteriales a base de plata, disponibles en el mercado, los cuales no son empleados comúnmente en hospitales debido a su alto costo, efectividad y durabilidad. Los objetivos específicos del proyecto fueron: 1) desarrollar un proceso de producción de nanopartículas de cobre; 2) funcionalizar las nanopartículas de cobre con silsesquioxano usando la tecnología Vitolane; 3) producir de un recubrimiento comercialmente aceptable, y 4) validar el recubrimiento en un ambiente hospitalario. En palabras del director de Viretec:

el desafío del proyecto CuVito fue identificar y obtener nanopartículas de cobre y soportarlas en una estructura química que tuviera funcionalidad antibacteriana, pero que al mismo tiempo previniera su liberación al medio ambiente y evitara posibles fenómenos de contaminación (Gómez, 2015).

La participación de Viretec tuvo dos vertientes: la primera de carácter ingenieril, en la que la empresa haría el escalamiento de los métodos seleccionados en laboratorio a equipos capaces de producir cantidades industriales de nanopartículas y, la segunda, más comercial, consistía en liderar la industrialización y venta de las tecnologías resultantes en México y Latinoamérica.

CuVito concluyó en 2014 alcanzando como resultados: seis solicitudes de patentes nacionales, tres europeas, siete artículos publicados y la formación de tres estudiantes de maestría y dos de doctorado (Gómez, 2015). En cuanto al desarrollo tecnológico, además del recubrimiento nanoestructurado para ambientes hospitalarios, se obtuvieron cuatro nanoaditivos más, uno para pinturas, otro para aluminio, otro para acero y el cuarto para telas, cada uno requiere una funcionalización específica según el tipo de matriz o sustrato en donde se pretenda aplicar; lo cual significa inversiones adicionales y conocimientos especializados distintos, es decir, la realización de nuevos proyectos.

La experiencia en la comercialización de las tecnologías de CuVito

Los desarrollos tecnológicos resultantes del proyecto CuVito pertenecen a los socios del consorcio, pero existe un líder de explotación comercial para México y América Latina, que es Viretec, y otro para la región europea, en este caso la empresa italiana Cyanine Technologies. A la fecha que se escribe este capítulo, los recubrimientos nanoestructurados no han llegado a la etapa de la comercialización, en otras palabras, la transferencia o uso del conocimiento no se ha concretado. De la información proporcionada por la empresa, se advierten dos grandes barreras para que la empresa logre transferir la tecnología del recubrimiento nanoestructurado antibacteriano base cobre, así como los nanoaditivos. Por una parte, la obtención de certificaciones sanitarias y de funcionamiento y, por la otra, lograr un acuerdo de licenciamiento conveniente con el socio del consorcio dueño de las patentes. Para que una empresa pueda competir en los mercados globales y que su producto innovador tenga mayores posibilidades de éxito, éste debe cumplir con otros criterios de “innovación” que escapan frecuentemente a la vista de quienes desarrollan la tecnología (científicos e ingenieros, gerentes, agencias de financiamiento, etcétera), pero que sin duda son muy importantes para la permanencia, el prestigio y desarrollo de la empresa. En este sentido por ejemplo, el *Manual de Oslo* considera a las normas, las certificaciones y el cumplimiento de regulaciones, como un criterio de desempeño innovador, pero también como obstáculos externos a ella (OCDE, 2005).

A continuación nos interesa describir las barreras identificadas y señalar cuáles actividades de gestión de la tecnología ha puesto en marcha Viretec para continuar la transferencia y comercialización de la tecnología generada en el proyecto CuVito.

Certificaciones sanitarias y de funcionamiento

La empresa se quedó en sus instalaciones con una planta piloto equipada con un prototipo a escala de 100 L para producción de nanopartículas de cobre y nanoaditivos vía húmeda con etapas de síntesis, separación, purificación, secado y empaque, además de un laboratorio pequeño equipado para pruebas de preescalamiento. Para la líder del proyecto, Pilar Montoya, la etapa subsecuente sería adecuar el prototipo para la producción de nanopartículas y nanoaditivos para aplicaciones que solucionen problemas concretos del mercado. No obstante, en los primeros acercamientos con clientes, la líder del proyecto identificó que para poder vender la tecnología, primero tendría que mostrar al cliente que los recubrimientos nanoestructurados efectivamente son antibacteriales, y que estos cumplen con las regulaciones sanitarias mexicanas. Así lo expone la líder técnica de Viretec:

Al tener acercamientos con empresas nos dimos cuenta que aunque la tecnología ya estaba en proceso de patente y con cierto grado de escalamiento para lograr las primeras ventas necesitábamos más que eso. Los posibles clientes no solo necesitaban que la tecnología estuviera totalmente desarrollada además requerían certificaciones en laboratorios especializados que aseguraran la propiedad que inferiría las nanopartículas, así como certificaciones por parte de Cofepris, que les confirmará que el uso de la tecnología no dañaría la salud de los usuarios finales, algunos también necesitan certificaciones de que el producto no es tóxico. Además de estos requerimientos nuestra empresa es consciente de que se necesitará un proyecto final para funcionalizar las nanopartículas o el nanoaditivo al substrato específico para cada cliente. Este problema no es difícil de resolver pero si indispensable para ratificar que se siga manteniendo la propiedad en los productos del cliente, aun después de pasar por varias matrices. Por lo que actualmente además del licenciamiento, estamos trabajando en los requerimientos necesarios para certificar nuestro proceso ante Cofepris, además de certificar capacidad bactericida que infieren nuestras nanopartículas bajo la norma JIS Z2801 (Montoya, 2015).

Para ponerse al tanto de la regulación de los productos con nanotecnología, además de iniciar los trámites correspondientes ante la Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (Cofepris), la empresa ingresó al Comité Técnico Nacional de Normalización en Nanotecnologías, este comité es coordinado por la Secretaría de Economía y en él se proponen estándares o normas técnicas para la regulación de esta tecnología

en el país, pero también se conocen y discuten los estándares técnicos que propone la Organización Internacional de Estándares (ISO, por sus siglas en inglés).

Para las adecuaciones al prototipo, la empresa ha realizado nuevas versiones pero ha buscado el financiamiento del Conacyt y de la Secretaría de Economía fundamentalmente. En 2014, Viretec obtuvo un subsidio por un millón de pesos del Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) del Conacyt para el proyecto Desarrollo de una plataforma para el licenciamiento y producción de nanopartículas y nanoaditivos para la industria automotriz.³ La plataforma tiene dos vertientes, la primera es el armado de un catálogo de oferta de conocimientos y capacidades nanotecnológicas en la región y un catálogo de demandas de la industria. La segunda vertiente de la plataforma es conformar una estructura legal para el licenciamiento de procesos nanotecnológicos, esto es, contratar la asesoría legal para determinar el costo del licenciamiento en el sector de las nanotecnologías, elaboración de convenios de transferencia de tecnología y acuerdos sobre regalías. A la par de este proyecto, la empresa obtuvo financiamiento del Fondo Sectorial de Innovación de la Secretaría de Economía y del Conacyt (Finnova) para complementar la estructura legal de la plataforma de licenciamiento.

En ese contexto, la empresa ha realizado varias actividades de gestión tecnológica, llevó a cabo un estudio del estado del arte en la región para comercializar la nanotecnología, resultado del proyecto CuVito, misma que consistió en identificar las fortalezas de los principales centros e investigación y universidades, así como de empresas que ya están utilizando o que desean utilizar NT en sus procesos o productos. Con esta información, la empresa logró mapear oportunidades de mercado para los nonorecubrimientos y nanoaditivos, e identificar a los grupos de investigación con quien pudieran emprender nuevos proyectos o resolver algún problema.

Viretec se enfoca en la búsqueda de clientes para la tecnología de pintura antibacteriana, y han tenido acercamientos con empresas ubicadas en el estado, como Pintone (empresa local) y Comex, y fuera del país con la empresa colombiana Pintuco. En el ramo textil han tenido pláticas con la empresa Martex (México) y con la empresa Enka de Colombia, para los mismos efectos.

Otra estrategia ha sido la organización de foros con empresarios y académicos en el que pueden encontrar clientes para licenciar la tecnología desarrollada. Con el subsidio del PEI, Viretec organizó en noviembre de

³Con este proyecto la empresa pretende apoyar la explotación comercial de las tecnologías desarrolladas en CuVito y otro tipo de nanopartículas.

2014 el Primer Foro de Nanotecnología Aplicada en San Luis Potosí. El Foro tuvo como ponentes a importantes promotores de las NT en el país, como el doctor Jesús González, actual director del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), el doctor Alex Elías, investigador del Instituto Tecnológico de Monterrey, quien presentó el convenio que tiene este instituto con el Massachusetts Institute of Technology (MIT) en materia de Nanociencias y Nanotecnologías, así como reconocidos investigadores locales, tanto de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí como del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT).

Recientemente, con financiamiento del Programa de Proyectos de Innovación Iberoeka,⁴ cuyo organismo gestor en México es el Conacyt, Viretec ha iniciado otro proyecto en vinculación con la empresa Comex para utilizar el recubrimiento antibacterial desarrollado en CuVito.

Acceso y experiencia para el licenciamiento de la tecnología

A la par de la búsqueda de clientes para los desarrollos nanotecnológicos, la empresa enfrenta dificultades para llegar a los acuerdos de licenciamiento. Recordamos al lector que estas tecnologías fueron creadas por los centros de investigación participantes en el consorcio, específicamente por el CIQA y por el Instituto de Nuevos Materiales de Alemania, y aunque Viretec es socio del consorcio, se requiere seguir un procedimiento para ser dueño de la explotación de las mismas, así como la aprobación de todos los socios. A decir del director de Viretec, “la etapa comercial del proyecto CuVito se convirtió en un camino de enseñanzas, tras interesar a algunos usuarios en la tecnología la empresa ha venido enfrentando una serie de obstáculos para recibir el otorgamiento de las licencias mexicanas, lo que no sucedió con las europeas”.

Como se mencionó líneas arriba, para financiar el proceso de comercialización de los nanorecubrimientos, Viretec ha gestionado el apoyo del programa Finnova con dicho apoyo la Oficina de Transferencia de Conocimiento (OTC) del Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología (Copocyt) es quien dará soporte legal para la licencia de la tecnología, le ayudará a establecer el precio acorde con el grado de desarrollo y sus posibilidades de

⁴En el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología participan 21 países latinoamericanos y España, su objetivo es otorgar apoyos al sector industrial para fomentar la cooperación internacional entre empresas en el campo de la investigación y el desarrollo tecnológico, mediante una estrecha colaboración entre empresas y centros de investigación (véase <http://2006-2012.conacyt.gob.mx/tecnologica/IBEROEKA/Paginas/default.aspx>).

éxito en el mercado, el territorio de explotación y un acuerdo conveniente para todas las partes.

Al preguntarle al director de Viretec, a qué atribuye la falta de acuerdo para el licenciamiento, la respuesta fue la siguiente:

Desafortunadamente en México hay muchas más barreras para lograr una licencia de un centro de investigación que en otros países. La incertidumbre legal y la desconfianza, así como la inexperiencia en este rubro por parte de los centros de investigación o de sus departamentos de vinculación, impiden muchas veces que estos puedan llegar a acuerdos de mutuo beneficio con las empresas, derivados de una explotación comercial. Aun teniendo un alto potencial para lograrlo, muchos de estos desarrollos se quedan dentro de las instituciones y nunca son explotados. Sería importante que nuestros legisladores puedan ayudar a los centros de investigación públicos y privados para que sus desarrollos se conviertan en innovaciones y puedan mejorar la vida de los usuarios finales (Gómez, 2015).

La percepción del entrevistado confirma lo que diversos diagnósticos han puntualizado sobre el sistema de innovación mexicano, la necesidad de que las universidades y centros de investigación cuenten con un marco normativo claro sobre la participación de los beneficios económicos de las investigaciones que producen sus investigadores. El hecho de que los laboratorios de estas instituciones han sido edificados con recursos públicos es un tema que no deja de ser controversial, pero que requiere establecerse una política clara en este sentido, particularmente en el contexto del paradigma de innovación al que se ha subido México. La necesidad de mayor flexibilidad institucional es otra dificultad que se trasluce en lo comentado por el entrevistado.

En 2014 se crea Nanopro, S. A. de C. V., considerada una *spin-off* de Viretec para llevar toda el área de nanotecnología. Esta nueva empresa tiene como misión “desarrollar proyectos integrales para la diferenciación de productos y procesos en este sector a partir de innovaciones tecnológicas seguras y ambientalmente sustentables” (Montoya, 2015).

Reflexiones finales

El caso de estudio aquí presentado fue construido con información empírica obtenida de entrevistas con el director de la empresa y con la líder técnica del proyecto CuVito, quienes también colaboran en este trabajo. Se utiliza-

ron documentos de la empresa, así como información pública de los proyectos apoyados por el Conacyt.

El objetivo de la investigación ha sido identificar las oportunidades y los obstáculos que existen en México para el desarrollo de innovaciones nanotecnológicas, a partir de la experiencia de una PYME que busca llevar al mercado un recubrimiento nanoestructurado antibacterial base cobre. El trabajo da cuenta de la importancia de que los tomadores de decisión diseñen instrumentos de apoyo a la innovación, que sean diferenciados para cada etapa y continuos, para que las empresas planeen mejores estrategias de gestión tecnológica. Por otra parte, consideramos que el desarrollo emergente de las nanotecnologías, en combinación con el momento que vive actualmente la política pública de CTI, constituyen una rica veta de estudio para evaluar el portafolio de instrumentos que financian estas actividades. Nos referimos principalmente a la importancia de analizar la respuesta de los actores a las reformas a la *Ley de Ciencia y Tecnología* posteriores a 2009, en donde se autoriza la creación de Fondos Sectoriales de Innovación (Art. 25 bis), a través de los cuales el Conacyt puede otorgar recursos para la creación de redes o alianzas regionales tecnológicas y de innovación, empresas de base tecnológica, unidades de vinculación y transferencia de conocimiento, instrumentos de capital de riesgo para la innovación y parques científicos y tecnológicos.

Empresas como Viretec, Metaltécnica y Nanopro, han sido posibles en gran medida a esas reformas. La principal capacidad que se observa en estas empresas es su eficacia para hacer uso de los instrumentos de fomento a la innovación, junto con la capacidad de trabajo interdisciplinario y la integración de recursos basada en la vinculación academia-gobierno-industria.

Si bien en sociedades con sistemas de innovación maduros, estos fondos carecen de sentido, en México estos apoyos son un claro detonador de los procesos de innovación y son esenciales para apuntalar el crecimiento económico y social. No obstante, con este caso de estudio se puede advertir que su operación y objetivos se encuentran aún en etapa de maduración, ejemplos de ello son la ausencia de fondos que atienden los problemas específicos de los desarrollos en nanotecnología, principalmente los de la comercialización y sistemas de monitoreo y evaluación que promuevan valores de honestidad y reglas claras en el ecosistema de innovación, que faciliten la colaboración a través de vinculaciones, la transferencia de tecnologías y el reparto de los beneficios de manera equitativa. Se requiere un marco jurídico más sólido y claro para facilitar el trabajo y la transferencia

de las tecnologías entre los centros de investigación, las universidades y las empresas. Así como para facilitar su comercialización y uso.

Finalmente, no queremos dejar de mencionar la ambigüedad de las regulaciones para los productos con nanotecnología, si consideramos que a nivel internacional se mantiene un debate científico y legal con respecto a los efectos a la salud y al medio ambiente de los nanomateriales, los requisitos de Cofepris parecen no poder garantizar que los productos nanotecnológicos no afecten al consumidor; lo que en el corto plazo dificultará la inserción de estos productos en el mercado.

Fuentes consultadas

- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) (2014). *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECYT) 2014-2018*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 102 pp.
- CORONA, J.M., Dutrénit, G., Puchet, M. y Santiago, F. (2013). La co-evolución de las políticas de CTI, el sistema de innovación y el entorno institucional en México. En Crespi y G. Dutrénit (Eds.). *Políticas de ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo La experiencia latinoamericana*, México: FCCT. 21-49 pp.
- DAGNINO, R. (2010). *Tecnología social: ferramenta para construir outrs sociedade*. Brasil: Komedi. 297 pp.
- DUTRÉNIT, G., Capdeville, M., Corona, J. M., Puchet, M., Santiago, F. y Vera-Cruz, A. (2010). *El sistema de innovación mexicano. Instituciones, políticas, desempeño y desafíos*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. 446 pp.
- GÓMEZ, A. (29 de enero de 2015). Entrevista a Director de Viretec, S.A. de C.V. (M. Anzaldo, Entrevistador).
- _____ (2014). *Viretec Gestión y Desarrollo* [diapositivas de PowerPoint]. Primer Foro de Nanotecnología Aplicada en San Luis Potosí, Parque de Innovación y Transferencia de Tecnología del Tecnológico de Monterrey 24 Noviembre.
- Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCT) (2014). *Ranking Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Capacidades y oportunidades de los Sistemas Estatales de CTI*, México: FCCT. 208 pp.
- INEGI-Conacyt (2012). Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico y Módulo sobre Actividades de Biotecnología y Nanotecnología (ESIDET-MBN). Recuperado de http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/establecimientos/otras/esidet_mbn/default.aspx

- INEGI (s/f). Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/slp/>
- LCYT (Ley de Ciencia y Tecnología) (2014). *Diario Oficial de la Federación*, 20 de mayo. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión de los Estados Unidos Mexicanos. 48 pp.
- MONTOYA, M. P. (4 de febrero de 2015). Entrevista con la líder técnica en Viretec del proyecto CuVito. (M. Anzaldo, entrevistador).
- THOMAS, H., Fresolli, M. y Becerra, L. (2012). Science and Technology Policy ex/inclusion: Analyzing opportunities and constraints in Brazil and Argentina, *Science and Public Policy*, Oxford University Press, Inglaterra, 39, 579-591.
- ECHEVERRÍA, J. (2008). El Manual de Oslo y la innovación social, *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, 732, 609-618.
- OCDE (2005). Manual de Oslo. *Directrices para la recogida e interpretación de información relativa a la información*. Trad. María Paloma Sánchez y Rocío Castrillo. Madrid: Gobierno Regional de Madrid. 162 pp.
- Senado de la República (25 de marzo de 2015). Dictamen de las Comisiones Unidad de Ciencia y Tecnología y de Estudios Legislativos, LXII Legislatura, tercer año de ejercicio-segundo periodo ordinario jueves 16 de abril. Recuperado de <http://www.senado.gob.mx/index.php?ver=sp&mn=2&sm=2&id=53683>
- ZÁYAGO, E. y Foladori, G. (2012). La política de ciencia y tecnología en México y la incorporación de las nanotecnologías. En G. Foladori, N. Invernizzi y E. Záyago (Coords.). *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina*. México: Universidad Autónoma de Zacatecas-ReLans-Porrúa, 135-161.

Innovación y tradición: dinámicas de construcción de pertinencia para un desarrollo de descontaminación de agua basado en nanotecnologías en Colombia

Astrid Jaime*

María Lucía Lizarazo**

Constanza Pérez Martelo***

Bernardo Herrera****

Introducción

La indagación sobre las contribuciones e implicaciones de las nanotecnologías a las economías en desarrollo ha estado presente en los estudios de ciencia, tecnología e innovación. Resultados de investigaciones recientes han evidenciado que la visión instrumental, es decir, la consideración de la tecnología en sí misma como factor de desarrollo, a pesar de ser un común denominador en las políticas científicas de promoción de las nanotecnologías en distintos países, es limitada para dar cuenta de las dinámicas de emergencia del área (Invernizzi *et al.*, 2008; Invernizzi *et al.*, 2014). Ello se asocia a una incipiente consideración de aspectos sociales y a las asimetrías en la manera como se asumen los riesgos y se aprovechan los beneficios de esas tecnologías en diferentes regiones y mercados, con poca evidencia del cumplimiento de las promesas de reducción de la pobreza y mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones, ligadas a esa visión instrumental (Cozzens, 2012; Invernizzi *et al.*, 2008).

*Directora de Transferencia de Conocimiento, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

**Estudiante de maestría en Ingeniería Industrial, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

***Profesora Asociada del Departamento de Ingeniería Industrial, Grupo de Investigación en Gestión de Organizaciones (UC-GIGO), Universidad Central, Colombia. Miembro ReLANS.

****Doctorando en Ciencias Sociales y Humanas, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.

Para el caso de América Latina, se ha dado una creciente actividad científica en el área (Kay y Shapira, 2009) y la vinculación de investigadores de la región a redes (Hubert y Spivak, 2009; Robles-Belmont, 2009), a veces con algunas asimetrías (Suárez y Dutrénit, 2014). Ello ha facilitado la estructuración de la comunidad científica, la legitimación del área de investigación, y la generación de alternativas de solución a los déficits de infraestructura local (Invernizzi y Foladori, 2012). En ocasiones, sin embargo, se ha derivado en una orientación temática alejada de intereses particulares de los países de la región. Por otra parte, en Latinoamérica la presencia del sector productivo es aún incipiente (Invernizzi *et al.*, 2014) y los aspectos sociales han estado ausentes en las políticas públicas de fomento al campo (Foladori *et al.*, 2012; Foladori, 2013). En ese escenario, para aplicaciones nanotecnológicas que tienen potencial de contribuir a la superación de problemas particulares de la región, un tema de interés es la manera como se articulan con los contextos locales de producción. Este capítulo busca aportar en esa dirección. Con ese propósito, se estudia el caso de un grupo de investigación de una universidad colombiana que genera una solución para descontaminación de agua incorporando nanomateriales. Se toma el eje de análisis de los procesos de construcción de pertinencia ligados a la generación de la tecnología, y su articulación con distintos grupos sociales.

El capítulo está organizado en cinco secciones, incluyendo ésta. En la segunda presentamos la revisión de literatura, focalizada en la construcción de problemáticas de investigación y redes. En la tercera abordamos el diseño metodológico, basado en el enfoque de artesanía intelectual para un estudio de caso. En la cuarta ilustramos el caso. Finalmente presentamos la discusión y conclusiones.

Las redes glo/cales como multisitios de producción de conocimiento

La pertinencia de los modelos de investigación e innovación en nanotecnologías pasa por entender dos dinámicas paralelas en red, de un lado la de las redes cognitivas entre comunidades científicas y, del otro lado, la lógica de dinámicas de redes locales de aprendizaje e innovación. Intentaremos dar argumentos en favor de la tesis de que ambas dinámicas en red se suplementan, permitiendo a la vez traducir necesidades cognitivas e intercambios aprovechables por la organización territorial. Nos ubicamos en una perspectiva de tomar los objetos epistémicos (Knorr, 1997, 1999) más allá

de lo cognitivo, con componentes sobre preguntas que se abordan, pero también sobre las posibilidades para resolverlas articulando distintos actores.

Aun cuando la discusión de lo local *versus* lo global ha estado en el centro del debate de las redes, nuestro modelo analítico pretende superar esa entrada dicotómica de ver el problema, remplazándola por un análisis pragmático desde donde surge la pregunta *¿cómo estamos haciendo eso que hacemos?* (Ferrari, 2010, citada por Cutcliffe *et al.*, 2012: 83). Cualquiera que sea el campo o disciplina de investigación o de innovación, esta mirada praxiológica, además de permitir superar las falsas dicotomías o categorías de oposición (Valderrama y Jiménez, 2008) permite abordar la discusión de la “pertinencia”, tanto desde lo local como desde lo global (Hanafi, 2011). La pertinencia local no tiene por qué necesariamente entrar en contradicción con el trabajo en las redes científicas que tienen componentes globales, dicha pertinencia se construye precisamente articulando ámbitos diversos de actuación, algunos marcados por la proximidad geográfica como factor de innovación, pero otros por vínculos funcionales de conocimientos distribuidos en redes multilocales.

Lo que proponemos es que la pertinencia del modelo analítico de cualquier proceso de innovación e investigación dé cabida a lo científico, al tiempo que dé la posibilidad de considerar variables desde la política y desde la ética, e incluso, desde la cultura (Cutcliffe *et al.*, 2012), y no sólo se centre el análisis en el beneficio económico, como muchos privilegian cuando el énfasis se pone en la transferencia tecnológica. Tal multiplicidad de factores es más necesaria cuando hablamos de investigación en campos nanotecnológicos, máxime si se pretende pasar de la experimentación *in vitro* a aplicarla *in vivo* a través de Colectivos Híbridos (Callon, 2012). Desde esas múltiples perspectivas, una investigación responde a “lo local”, en la medida en que éticamente consulte en qué puede beneficiar a las comunidades de una organización territorial, sin que ello impida avanzar en la frontera del conocimiento y sin que esta “pertinencia cognitiva” se confunda con un determinismo tecnológico.

A pesar de lo reciente del surgimiento de las disciplinas nanotecnológicas en América Latina, ya desde el 2008 Invernizzi y otros autores planteaban el estado de la cuestión sobre este campo a partir de entradas dicotómicas: entre determinismo tecnológico y construcción social de la tecnología (Invernizzi *et al.*, 2008). Más recientemente, surge la pregunta desde el contexto latinoamericano sobre la manera de cómo se ha transformado esa ciencia emergente. Nuestro interés es retomar este tipo de aportes para interpelar la literatura que categoriza al *Norte global* en oposición a un *Sur*

global (Cozzens, 2012), enfrentamiento ya tradicional en el subcontinente desde enfoques centro/periferia (Kreimer, 2006, 2010; Kreimer y Zabala, 2006, 2007). Una buena vinculación de los grupos de investigación académicos con redes internacionales, no necesariamente como dice Kreimer (2006), debe sopesarse por sus escasos vínculos con los grupos locales, dado que los primeros se subordinan a reglas de juego dictadas desde fuera. Por el contrario, consideramos que son múltiples los ámbitos de posible aplicación, como lo demuestra el mismo Kreimer cuando hace referencia a lo temprano de la transformación de la investigación micro a la biología molecular en Argentina, en momentos en que esta disciplina era incipiente, incluso en países “hegemónicos” europeos y en Estados Unidos.¹ Como se advirtió, esas miradas dicotómicas basadas en un supuesto de subordinación, hoy se relativizan desde el principio de complementariedad;² por nuestra parte hemos intentado probar esta co-incidencia, tomando como caso laboratorios colombianos generadores de innovación en ingeniería biomédica y en redes de investigadores en nanomateriales con sede en regiones no centrales en el país y entre estos e investigadores en la Joya California y en Le Mans al norte de Francia (Herrera *et al.*, 2012; Pérez *et al.*, 2015). Los espacios de producción de conocimiento entrelazan variadas dimensiones en las cuales el territorio es recontextualizado más allá de lo geográfico y emergen sitios de intercambio multisituados (Casas *et al.*, 2001; De Gortari, 2001; Herrera *et al.*, 2006).

Basados en la anterior discusión, en el aparte central de este capítulo las reflexiones girarán en torno a dos miradas en red, interdependientes: la cognitiva,³ y la territorial; la primera, agenciada por ampliar la frontera del conocimiento según estándares internacionales, y las posibilidades de responder

¹En alguno de sus últimos trabajos, Kreimer (2010) se ratifica en el Conocimiento Aplicable No Aplicado (CANA) a pesar que desde su formulación de la tesis CANA (Kreimer, 2006), este autor deja abierta la puerta al eventual concurso de otros actores sociales sensibles, para que académicos e investigadores podamos ser capaces de diseñar instrumentos de calidad internacional pero sustentados en la apropiación local de los conocimientos (p. 211).

²Para una discusión de estas alternativas no hegemónicas de la ciencia, ver el número especial de la *Revue d'anthropologie des connaissances* coordinado por Losego y Arvanitis (2008), *La science dans les pays non hégémoniques* orientado por la pregunta de si estamos entrando en un mercado mundial de competencias científicas. En los trabajos referidos de Invernizzi se cuestiona la unidireccionalidad del norte al sur cuando el rol suele ser compartido, en los cambios de paradigma incluso se estarían abriendo más y nuevas posibilidades desde los países subdesarrollados. En América Latina las redes globales le garantizan acceso a laboratorios y a equipamientos muy costosos, activando una masa crítica compartida entre investigadores y, por su parte a nivel nacional, las redes locales garantizan la autonomía relativa de las universidades no centrales. Aun lo dicho, es evidente que la lectura a esa confluencia de intereses es más la de una pasividad y actitud receptora del sur.

³Se toma la perspectiva de objeto epistémico que va más allá de la dimensión cognitiva, y considera las prácticas y la materialidad en los procesos de producción de conocimiento.

ciertas preguntas y articularse con actores, y la segunda, por la aplicabilidad de condiciones socioterritoriales ancladas en el potencial de una fibra producida de manera natural, localmente. Con ese propósito, tomaremos elementos de la perspectiva de la sociología de la traducción (Callon, 1995; Latour, 2008) para dar cuenta de la dinámica de construcción de redes heterogéneas entre actores que se vinculan (o desvinculan) poco a poco. Callon (1995) plantea cuatro momentos del proceso de traducción, no necesariamente secuenciales: 1) problematización, es la definición de unos actores y la identidad que tendrán en una red; 2) interesamiento,⁴ es un conjunto de acciones mediante las cuales una entidad intenta estabilizar la identidad que ha definido de otros actores; 3) enrolamiento, es la definición y asignación de roles a actores que los aceptan dentro de una red; 4) movilización de aliados y construcción de portavoces, son desplazamientos y transformaciones para lograr articular actores que previamente no lo estaban. Permite la construcción de unos voceros o portavoces, actores que están en capacidad de hablar por otros y son legitimados por ellos.

Metodología

La pregunta de investigación que orienta este trabajo es ¿cómo los desarrollos en nanotecnologías construyen la pertinencia a problemáticas de interés para actores heterogéneos? De acuerdo con el tipo de pregunta, ligada a la comprensión de un fenómeno contemporáneo, se utiliza un diseño de estudio de caso (Yin, 1994).

Se selecciona un caso de un grupo de investigación de una universidad colombiana que genera y se encuentra en proceso de patentar una tecnología basada en nanocompuestos para remover contaminantes del agua. El caso es seleccionado por sus características intrínsecas (Siggelkow, 2007; Stake, 1995): trabaja una problemática de interés para la industria local (la contaminación del agua por colorantes usados por la industria textil), articula sectores agrícolas tradicionales en Colombia (productores de fique) e incluye colaboraciones con socios científicos nacionales e internacionales. Esas particularidades hacen que sea una situación propicia para indagar cómo las nanotecnologías se incorporan en las dinámicas locales de pro-

⁴Aunque la palabra “interesamiento” no existe en castellano, la utilizamos aquí para conservar la expresión usada, en la literatura publicada en este idioma, para uno de los momentos del proceso de traducción en la teoría del actor red (Véase, por ejemplo, Callon (1995), Goulet y Vinck (2013) citados en este capítulo).

ducción del país, y la manera como se va construyendo paulatinamente la pertinencia de esas aplicaciones tecnológicas.

La investigación combina la observación participante con la realización de entrevistas semiestructuradas (Bernard y Ryan, 2010). Tal observación participante fue realizada por dos de los autores de este capítulo, vinculados a los procesos de transferencia de conocimiento de la universidad a la cual pertenece el grupo de investigación. Ello permitió el acceso al terreno y la recolección de los datos con el filtro adecuado sobre aspectos críticos de la propiedad industrial de la tecnología. También nutrió el estudio desde dos perspectivas: una ligada a la participación directa en los procesos de protección de la propiedad intelectual y transferencia de conocimiento asociados al desarrollo estudiado, y otra desde un análisis por parte de investigadores externos a la experiencia (Moeran, 2009; Ybema y Kamsteeg, 2009).

Las entrevistas fueron conducidas por uno de los autores que realizaron la observación participante, con los líderes del grupo de investigación que desarrolló la tecnología, tratando temas como: proyectos asociados a la generación de la tecnología, procesos de patentamiento, fuentes de financiación y actores con los que establecieron relaciones. Se realizó la grabación de las conversaciones. Tales audios fueron editados por los investigadores que adelantaron la observación participante, con el fin de eliminar aspectos confidenciales de la tecnología. Posteriormente fueron escuchados por cada uno de los tres autores que no asistieron a las entrevistas, para luego discutir en una sesión de trabajo colectivo los elementos identificados. A partir de ese diálogo, se seleccionaron fragmentos de las entrevistas a transcribir totalmente.

Se realizó también análisis documental de reportes de proyectos, currículos de los investigadores, notas de prensa y documentos de divulgación, publicaciones científicas, entre otros. Los textos fueron estudiados no sólo desde su contenido, sino también desde los contextos ligados a su producción y circulación. Por ejemplo, para las notas de prensa, nos hicimos preguntas sobre el discurso movilizado y los objetivos que buscaban los actores con esas comunicaciones.

El análisis de los materiales lo abordamos desde la perspectiva de “artesanía intelectual” (Kaufmann, 2008; Mills, 1986 [1961]) que consiste en la combinación y diálogo permanente entre elementos del terreno, la teoría y los aspectos metodológicos. Ello involucra idas y vueltas entre la pregunta de investigación, la revisión de la literatura y los datos. El encuentro de reflexividades (Guber, 2001) entre los autores del capítulo (participantes

de los procesos de protección y transferencia de la tecnología, y externos a ellos), también propició la generación de preguntas intermedias y la conexión entre los datos.

En la escritura adoptamos un enfoque que busca conectar los elementos teóricos y resultados de otros estudios, con los procesos identificados en el caso analizado.

Un caso de construcción de pertinencia en nanotecnologías

El caso estudiado es un grupo de investigación en el campo de la fisicoquímica fundamental y aplicada de la Universidad Industrial de Santander (UIS), en Colombia.⁵ Nos concentramos en uno de los desarrollos generados por ese grupo, una tecnología para la descontaminación de agua que utiliza una fibra natural producida en esa región: “La modificación superficial de las fibras de fique, en este caso con óxido de manganeso, un nanocompuesto que actúa como catalizador, ha demostrado su capacidad para degradar los colorantes que utiliza la industria textil y remover los agentes que contaminan el agua” (Universidad Industrial de Santander, 2014).

En las secciones siguientes presentaremos varios procesos bajo los cuales el grupo de investigación se articula con otros actores para construir la pertinencia de esa tecnología. En el diagrama 1 se ilustra la temporalidad de vinculación de esos actores.⁶

¿Qué podemos hacer con el fique?

El trabajo del grupo de investigación alrededor del fique pasa por varias traducciones de problemáticas. En el año 2005 el grupo es contactado por la Secretaría de Agricultura del departamento de Santander, tal como lo comenta uno de los investigadores:

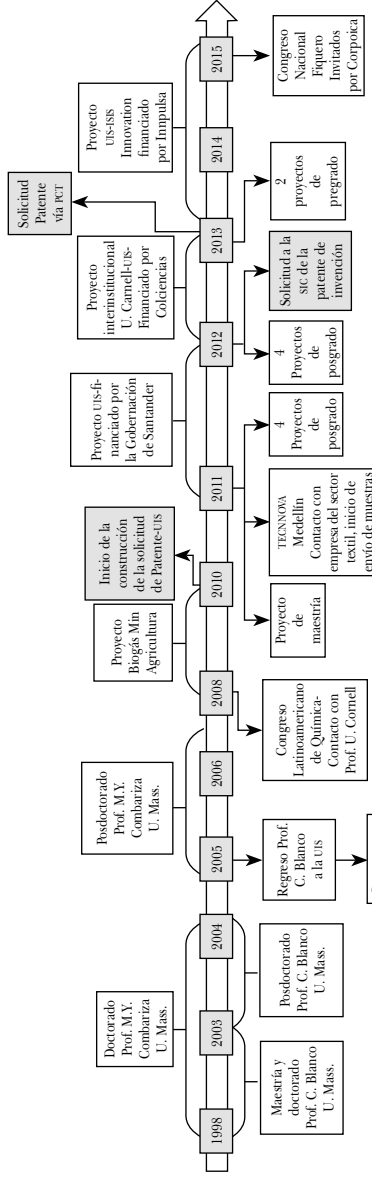
⁵Santander es un departamento de Colombia, ubicado en la zona nororiental del país. Su capital es Bucaramanga, ciudad en la cual se encuentra la sede principal de la UIS.

⁶Esta figura presenta la temporalidad de varias acciones del grupo de investigación, incluyendo algunos vínculos que no se relacionan directamente con la generación de la tecnología analizada en el caso, pero que aportan a su desarrollo. Las siglas y abreviaturas usadas en la gráfica son: U. Mass: Universidad de Massachusetts; U. Cornell: Universidad de Cornell; UIS: Universidad Industrial de Santander; SIC: Superintendencia de Industria y Comercio; Corpoica: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria; MinAgricultura: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; OMPI: Organizacional Mundial de la Propiedad Intelectual; DTC: Dirección de Transferencia de Conocimiento de la UIS.

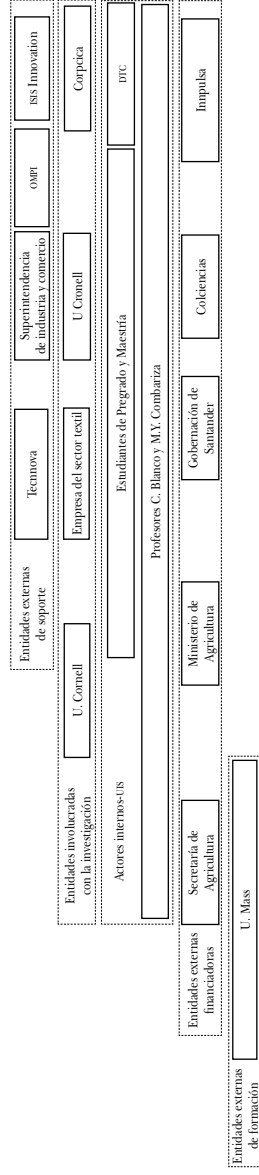
Diagrama 1

LÍNEA DE TIEMPO DE DESARROLLO Y EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Línea de tiempo del desarrollo de la tecnología



Atores involucrados en el desarrollo y evolución de la tecnología



Fuente: Elaborado por los autores a partir de las entrevistas y documentación del caso.

[Me contactaron] para ver qué podíamos hacer con el fique, qué podíamos hacer con los jugos y los derivados del fique diferentes a la fibra. Entonces, en esa época presentamos un proyecto pequeñito a la gobernación en donde les decíamos que queríamos hacer unas plantas piloto para industrializar eso y por lo menos sacar productos estabilizados, materias primas estabilizadas.

Esa iniciativa no fue financiada, pero se continúan las investigaciones a partir de recursos propios. El grupo identifica que para trabajar con ese producto se requieren materias primas estabilizadas y para ello deben articularse con los productores. Sin embargo, las entidades de financiación del departamento y del orden nacional priorizaron otros productos de la región, apoyando proyectos de biogás y plantas piloto de chocolatería. Las trayectorias de los desarrollos alrededor del fique pasan por negociaciones y reconstrucción de problemáticas. La no obtención de financiamiento para los proyectos lleva al grupo a reflexionar: “a nadie le interesa las fibras de fique”. Esta situación muestra, tal como lo han sugerido otros casos (Callon, 2006; Kreimer y Zabala, 2007), varias condiciones presentes en la construcción de preguntas y problemas de investigación a trabajar. Un punto que emerge aquí es la manera como los organismos gubernamentales de financiación definen unos temas pertinentes para una región, pero inciden en las trayectorias de desarrollo cuando priorizan ciertos productos. La construcción de pertinencia de una propuesta requiere lograr el interesamiento de esas entidades (Akrich, Callon y Latour, 2002).

Si bien no obtiene la financiación, el grupo de investigación sigue haciendo algunos avances con el fique, que le permiten identificar cuál es la mejor forma de aprovecharlo:⁷

Inicialmente empezamos pensando qué hacer con el jugo porque el jugo es... el jugo y el bagazo... son tal vez el mayor problema que tiene la producción de fique porque en el campo eso es un residuo y ese residuo se convierte en un desecho y eso genera una serie de problemas medioambientales serios sobre los ríos y sobre los suelos. Entonces iniciamos pensando qué se podía hacer con el jugo, pero luego nos dimos cuenta, después de empezar a estudiar y analizar ese problema fundamental, después de uno o dos años de nosotros empezar a trabajar con esto, nos dimos cuenta que realmente lo interesante de esto eran las fibras... (Investigador del grupo).

⁷Resaltaremos algunos fragmentos de los materiales de las entrevistas y documentos que nos permiten destacar los puntos expuestos.

Los elementos ilustrados muestran unos intereses de entidades gubernamentales regionales (¿qué hacer con el fique?) que se reconfiguran en objetos epistémicos a trabajar (Knorr, 1997; Knorr, 1999), preguntas que se hace el grupo entrelazando las posibilidades del campo de conocimiento con las limitantes de recursos. Se plantean trabajos exploratorios que se puedan abordar con las infraestructuras y elementos disponibles en el grupo. Ello les permite identificar que lo más interesante era concentrarse en las fibras de fique, y no en los jugos, como lo habían considerado inicialmente. También construyen nuevas preguntas sobre puntos de investigación original, tal como lo ilustra un investigador del grupo: “Entonces necesitábamos algo que hacer con esas fibras [...] La profesora [...] dijo: bueno esas fibras son muy bonitas casi la mayoría de gente reporta es síntesis de tal material, pero no las aplicaciones”. El grupo empieza a realizar experimentos modificando el fique con varios materiales e identificando potenciales aplicaciones. Se articula aquí la oportunidad de trabajar un producto de interés regional con una vía de investigación que permite lograr resultados originales en el campo científico.

Con un trabajo de grado de una estudiante de la Escuela de Química logran “la modificación de fibras de fique utilizando nanopartículas de óxido de manganeso, una reacción in situ para la producción de ese nanomaterial” (Investigador del grupo), tecnología en proceso de patente.⁸

Vemos que en la construcción de la pertinencia se conjugan la relevancia local, la capacidad de generar resultados con las limitaciones de recursos, y el posicionamiento del grupo con hallazgos de interés para la comunidad científica.

Biodiversidad de la región y el fique como símbolo de orgullo regional

En una posterior convocatoria promovida por el Gobierno del Departamento de Santander, dirigida a la obtención de nuevos materiales a partir de la biodiversidad de la región, el grupo de investigación de la UIS logra financiación para un proyecto. Ello le permite continuar con las investigaciones de modificación de fibras de fique. Ese proceso de traducción exitosa de intereses (¿qué hacer con el fique?) al lograr recursos de la convocatoria de biodiversidad del departamento de Santander es llevada a otros espacios en la

⁸La solicitud de patente fue radicada en el año 2012 ante la Superintendencia de Industria y Comercio-SIC (Colombia) y su número de expediente es 12 146361. En el año 2013 se hizo la solicitud a través del Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT).

construcción de redes de vinculación y transferencia, que favorecen la generación de percepción pública (Orozco y Chavarro, 2006) y el interesamiento de nuevos actores. Ello se observa en el siguiente extracto de una nota de prensa de la UIS, en la que se resaltan los resultados del grupo movilizando el fique como símbolo de orgullo regional:

Uno de esos frutos milenarios es la fibra de fique [del Departamento de Santander]. Esta ha sido utilizada tradicionalmente para hacer lazos, cabuyas, sacos y artesanías; sin embargo, en los últimos años ha perdido su protagonismo por causa de las fibras sintéticas. Lo que para nuestros antepasados fue fruto vital, hoy día no pasa de ser un producto más de economía campesina. El cambio de fibras naturales a sintéticas, en la economía local y nacional, va en contravía de las tendencias en países industrializados donde se aprecian propiedades como la biodegradabilidad y el impacto positivo en los ciclos de carbono, ofrecidas por las fibras naturales. La pregunta entonces es: ¿qué más podemos hacer con las fibras de fique para que resurja como un producto de valor? (Universidad Industrial de Santander, 2012).

Observamos que la construcción de pertinencia moviliza un producto ancestral como símbolo de anclaje territorial de los desarrollos. La nanotecnología se presenta en este escenario como una oportunidad para potencializar productos naturales que paulatinamente perdían presencia en los mercados. Ello hace necesarias ciertas relaciones. Tal como lo identifican los investigadores del grupo desde los primeros trabajos, requiere comprometer a sectores productivos tradicionales con la obtención de “materias primas estabilizadas”. Con ello se busca aportar a potenciar la producción:

El fique tiene una historia muy interesante porque desde la época de las culturas precolombinas se ha utilizado[...] para multiplicidad de procesos, específicamente para hacer sogas, y empaques y artesanías, tejidos[...] Y actualmente hay una tendencia mundial para volver a utilizar esas fibras porque tienen unas características muy especiales [...] (Investigador del grupo).

Identificación e interesamiento de sectores tradicionales de la economía como parte de la cadena de valor

El escenario delineado por el grupo de investigación requiere enrollar (Callon, 1995) a los productores de fique para que generen materias primas

estabilizadas. Este es un proceso paulatino de mostrar la necesidad de cambio de prácticas, tal como lo explica uno de los investigadores:

Hemos ido a toda la provincia Guanentina⁹ [...]acabamos de ir al Congreso Nacional Fiquero en el Tambo, Nariño¹⁰ donde le contamos a la gente por primera vez que estamos haciendo con nanotecnología, quedaron muy entusiasmados, le mandamos el mensaje tanto a la gente del campo como a los oficiales, que *es necesario hacer centros de acopio para que estas cosas pueden funcionar porque si usted no tiene materias primas estabilizadas es imposible.*

Ese enrolamiento de los productores de fique ha requerido contactar ciertos portavoces del sector en el país:

[...]ha habido actores importantes en la cadena del fique a nivel nacional con los cuales nosotros nos hemos involucrado, es decir, nosotros somos los que los hemos llamado[...] les decimos[...] mire nosotros tenemos estas cosas por qué no empezamos ahora sí a hacer cosas en serio en términos de ciencia y tecnología, entonces esas personas se motivan[...] (Investigador del grupo).

Las articulaciones mostradas permiten ir construyendo la pertinencia para esos sectores tradicionales. En otra vía, pensando en las aplicaciones, después de los ensayos realizados, el grupo identifica propiedades de los materiales para la descontaminación de agua. Atendiendo las invitaciones de la Dirección de Transferencia de Conocimiento de la UIS para participar en eventos de relacionamiento con la industria, el grupo de investigación aprovechó un Tecnova¹¹ para contactar a una empresa del sector textil.

[...] nos inscribimos en TECNNOVA y dijimos que nos gustaría hablar con [empresa del sector textil] porque ya estaban los resultados de [modificación de fibras de fique utilizando nanopartículas de óxido de manganeso], entonces nos fuimos a hablar con los de [la empresa] y llegaron los muchachos de producción que *veían con mucho interés que nosotros les dijéramos que teníamos*

⁹Región del Departamento de Santander productora de fique.

¹⁰Nariño es un Departamento de Colombia ubicado al suroeste del país. Tambo es uno de sus municipios.

¹¹La Corporación Tecnova UEE (Universidad-Empresa-Estado), ubicada en la ciudad de Medellín, Colombia, busca “conectar el conocimiento de las universidades con las empresas[...]”. Realiza unas ruedas de negocio en las cuales se encuentran empresarios con grupos de investigación y otros actores interesados en articular acciones. Para mayor información véase <http://tecnova.org/>

una solución para el problema de los colores en el agua y entonces allá fuimos y les hicimos una presentación del proyecto y ellos dijeron que les gustaba la idea y nos contactaron con la jefe ambiental de la empresa [...] con ella llegamos al acuerdo de que nos enviaran muestras s[...] (Investigador del grupo).

El trabajo sobre las muestras genera retos al grupo, tal como lo ilustra uno de los investigadores: “pero las muestras que nos mandaron tenían índigo como color, pero también *tenían negro y azul mezclados y eso es una mezcla complejísima*” (Investigador del grupo). Ello implica nuevas problematizaciones. Al procesar las muestras lograron eliminar el color azul, pero el negro quedaba. Esto lo transformaron en una pregunta de investigación para un trabajo de grado de química: “le pusimos como reto a otro estudiante de pregrado[...] que *cómo hacíamos con un método avanzado de oxidación que tuviera fibras[...] para quitar el negro[...]*” (Investigador del grupo). El estudiante logró unos resultados preliminares y con las orientaciones de los investigadores ajustó el proceso hasta obtener resultados satisfactorios.

El grupo de investigación genera relaciones con diversidad de actores de la cadena de valor proyectada para la aplicación. Por una parte, con los productores de fique para establecer algunos requisitos de las materias primas, y por otra, con la industria textil para probar la tecnología y generar nuevas preguntas para su mejoramiento. Vemos que la pertinencia pasa por varios frentes de trabajo, e implica traducir problemas de los actores en preguntas de investigación original y recontextualizar los resultados obtenidos en términos de las entidades que se desean interesar.

Desarrollos en redes multisituadas

Otro de los proyectos para los cuales el grupo logró financiación fue a través del “Programa de Diáspora de Alto Reconocimiento” impulsado por Colciencias,¹² que busca fortalecer vínculos con colombianos investigadores e innovadores residentes en el exterior. El grupo presenta el proyecto con un investigador colombiano que trabaja en el tema de fibras en la Universidad de Cornell en Estados Unidos:

[...] la convocatoria esa de la diáspora de Colciencias, entonces nos asociamos con un colega nuestro [...], por razones obvias: [él] tiene experiencia en

¹²Colciencias es el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia. Esta entidad “promueve las políticas públicas para fomentar la CT+I” en el país. Para más información véase <http://www.colciencias.gov.co/>

utilización de celulosa pero de algodón y otras fibras como nylon, fibras sintéticas y ha depositado sobre esos materiales nanopartículas. Con él nos encontramos en el año 2008[...] en Puerto Rico, en San Juan, en un congreso latinoamericano de química y hablamos de las posibilidades de trabajar en colaboración, entonces en esa ocasión llegamos al acuerdo de que podríamos empezar a explorar el hecho de utilizar las fibras de fique como soporte [...] (Investigador del grupo).

El programa de Diáspora de Colciencias fue un espacio para articular acciones UIS-Cornell, con un componente adicional: el investigador colombiano en Cornell era egresado de la UIS, como se menciona en una nota de prensa titulada “La nanotecnología se pone de moda. El Egresado Destacado Juan Pablo Hinestroza visitó la UIS” (Universidad Industrial de Santander, 2012). El investigador de Cornell comenta, el proyecto “[es] financiado por Colciencias bajo la modalidad de diáspora científica, que es un proyecto en el cual utilizamos fibras de fique, les colocamos diferentes nanopartículas y nanoestructuras y podemos utilizarlas para purificar aguas residuales contaminadas” (Universidad Industrial de Santander, 2012).

Para el grupo de investigación de la UIS la pertinencia se va construyendo en términos de las relaciones con los productores de fique y las industrias del sector textil, además de la facilidad para realizar el proceso en un laboratorio de química básica. La Universidad de Cornell resalta los beneficios de la tecnología para varios países con problemas de contaminación: “[...] los colorantes, como el azul índigo usado para tinturar los blue jeans, amenazan las vías fluviales cercanas a las plantas textiles de América del Sur, la India y China” (Ramanujan, 2013).¹³

Las investigaciones conjuntas UIS-Cornell se visibilizan también ante la comunidad científica internacional “los resultados de este trabajo se publicaron recientemente en una de las revistas especializadas en temas ambientales con mayor impacto en el mundo: Green Chemistry” (Universidad Industrial de Santander, 2014). En las colaboraciones se trata el tema de una patente conjunta, pero con la patente en proceso de la UIS no es viable:

De ese proyecto pues era una extensión de la patente que ya teníamos y eso se intentó hacer con *Cornell University* llevar eso a patentamiento, *pero resulta que los abogados de Cornell dijeron que la primera que estábamos sacando era demasiado amplia* que incluso cubría eso otro, entonces que ellos no les interesa hacer otra patente entonces nosotros decidimos no continuar, sino más bien hacerle todo el esfuerzo a la primera [...]

¹³Traducción propia.

El investigador de Cornell resalta la versatilidad de la solución: “Esta es la primera evidencia de la efectividad de esta técnica sencilla [...]. Utiliza la química a base de agua, y es fácilmente transferible a situaciones del mundo real”¹⁴ (Ramanujan, 2013). En las notas de prensa los investigadores destacan la efectividad de los resultados: “es sorprendente como en tan solo cinco minutos el nuevo material nanocompuesto elimina 98 por ciento del contaminante de las aguas residuales por contacto directo” (Universidad Industrial de Santander, 2014).

El grupo de investigación de la UIS también se benefició de un proyecto liderado por la Dirección de Transferencia de Conocimiento de esa entidad, financiado por Innpulsa Colombia.¹⁵ La iniciativa buscaba fortalecer las capacidades institucionales de transferencia y/o comercialización de tecnologías. En el proyecto la UIS contó con ISIS Innovation,¹⁶ de la Universidad de Oxford, como institución acompañante. En el contexto del proyecto, ISIS impartió una formación de una semana en transferencia de tecnología en Bucaramanga a los profesores de la UIS con tecnologías en trámites de protección y los investigadores del grupo participaron. Esto permitió que entendieran la complejidad del proceso y los aspectos a tener en cuenta durante el mismo, para incorporar, al menos en parte, una comprensión sobre cuestiones como el mercado potencial que puede tener la tecnología.

En esta sección mostramos cómo la construcción de pertinencia se contextualiza en varios espacios de producción de conocimiento. Para la Universidad de Cornell el proyecto permite el aporte a partir de investigaciones previas con otras fibras, y la aplicación de sus resultados a un problema industrial de varios países. La modalidad de financiación de diásporas permite al investigador colombiano en el exterior fortalecer lazos con su país (y universidad) de origen, tal como lo muestra una entrevista en un periódico de circulación nacional:

¿Te imaginas a campesinos en San Vicente de Chucurí¹⁷ produciendo filtros de fique y enviando esos productos a China o India para descontaminar ríos? pregunta Hinestroza, feliz de los buenos resultados que ha dado el trabajo conjunto que recibió el apoyo de Colciencias y el Banco Mundial (Correa, 2013).

¹⁴Traducción propia.

¹⁵Innpulsa es una institución del gobierno nacional, creada en febrero de 2012, para apoyar y promover iniciativas de negocio que tengan el potencial de crecer de manera rápida, rentable y sostenida. Para más información véase <http://www.innpulsacolombia.com/>

¹⁶ISIS Innovation “es la empresa comercializadora de investigación y tecnología de la Universidad de Oxford”. Para más información véase <http://isis-innovation.com/spanish/>

¹⁷Municipio del Departamento de Santander, Colombia.

El grupo de investigación de la UIS genera una oportunidad para trabajar el fique, ese símbolo de orgullo regional, con una esquema más estructurado: “la primera financiación regularmente buena que hemos tenido...se hizo en asocio con la Universidad de Cornell [...] y fruto de eso [...]han salido una serie de artículos muy interesantes en revistas especializadas [...]”. Las relaciones de la UIS con ISI Innovation permiten a los investigadores del grupo acercarse a los procesos de transferencia de tecnología. Las redes van articulando varios ámbitos de acción.

Discusión y conclusiones

En este estudio abordamos la pregunta sobre la construcción de pertinencia de los desarrollos en nanotecnologías para actores heterogéneos. Encontramos articulación de acciones en múltiples ámbitos. Ello pasa por movilizar a sectores tradicionales de la economía, así como socios científicos y tecnológicos internacionales. La pertinencia requiere traducir preguntas de varios actores en las problemáticas a trabajar, pero también proyectar nuevas indagaciones a ser resueltas (por ejemplo: el trabajo con los productores de fique para obtener materias primas estabilizadas). En este caso colombiano de un desarrollo incorporando nanocompuestos para la solución de un problema de la industria textil, vemos que las nanotecnologías se presentan como una oportunidad de potenciar sectores tradicionales de la economía que se están quedando por fuera del mercado. El programa promovido por el Departamento de Santander para obtener nuevos materiales a partir de la biodiversidad de la región hace un llamado en ese sentido. Estas líneas de acción de las entidades de financiación inciden en las trayectorias tecnológicas. La pertinencia es negociada con los organismos que declaran áreas prioritarias o relevantes para apoyar. Estas situaciones muestran que la co-construcción de problemas a trabajar tiene componentes variados: una investigación que sea original ante la comunidad científica, que logre vincular actores del sector productivo y que despierte el interés de entidades de fomento.

En la construcción de pertinencia, las redes de vinculación y transferencia, que generan percepción pública (Orozco y Chavarro, 2006), son centrales. Esto puede evidenciarse en la manera como se presentan los proyectos en las notas de prensa. Esas comunicaciones son una vía para visibilizar que lo que se está haciendo es pertinente, movilizándolo el orgullo regional (fique como producto ancestral), las posibilidades de la tecnología y la articulación con redes internacionales. Para este caso, ello ha permitido interesar a nuevos actores (como portavoces de los fiqueros y entidades del

sector agrícola). En las nanotecnologías es frecuente encontrar en los medios énfasis en las visiones optimistas, pero poca referencia a implicaciones sociales o riesgos (Invernizzi y Cavichiolo, 2009). En este caso, la movilización de sectores tradicionales de la agricultura implicará el reto de una adecuada integración a la cadena de valor. Varios estudios han mostrado inequidades entre los grupos sociales que se benefician de este tipo de tecnologías, que llevan a “considerar quién se beneficiará del producto, no solamente si éste se venderá” (Cozzens, 2012: 136). La construcción del escenario en el que los productores de fique se organicen para generar materias primas estabilizadas requerirá trabajar otros ámbitos de pertinencia, frente a las condiciones bajo las cuales emprenderán las nuevas prácticas de producción y dejarán de lado los métodos a los que están habituados (Goulet y Vinck, 2013). El grupo de investigación ha identificado esas nuevas asociaciones y actores que deben enrolarse al desarrollo tecnológico para que esto sea posible.

El caso muestra una conjugación de la tradición de una región, con los procesos de innovación que pueden potenciar un sector de la economía. Esto genera unas redes multisituadas, que construyen un conocimiento validado por la comunidad científica, pero a su vez legitimado por entidades gubernamentales que buscan fomentar el desarrollo de la agricultura en el departamento, y por la industria textil que desea resolver una problemática de contaminación. El acceso a las fuentes de financiación es un punto relevante en la construcción de pertinencia, por el enrolamiento que se logra con ciertas líneas temáticas de las entidades de fomento. Pero también por la oportunidad de aprovechar la circulación de competencias de la diáspora científica y la movilidad (Kleiche-Dray y Chiapa Zenón, 2014; Kleiche-Dray y Villavicencio, 2014; Meyer, 2008). La relación del grupo de investigación con actores ligados a la transferencia de tecnología le plantea nuevas preguntas sobre la forma de viabilizar las aplicaciones. La pertinencia pasa por la proyección de los esquemas de explotación una vez obtenida la patente.

La pertinencia es entonces construida en múltiples escenarios. No desconocemos que la tecnología y el ciclo de vida de los productos requerirá evaluar los beneficios y riesgos en cada etapa de producción, ligados a las características particulares de esta aplicación nanotecnológica, y a su contexto de fabricación y uso. En este trabajo nos hemos concentrado en la manera como los actores que desarrollan la tecnología generan articulaciones para hacer de su propuesta una opción pertinente. Es en esa dirección en la que encontramos una intrincada relación entre aspectos de los contextos glo/cales.

Agradecimientos

Agradecemos a los investigadores Marianny Yajaira Combariza y Cristian Blanco Tirado, del Grupo de Investigación en Físicoquímica Teórica y Experimental (GIFTEX) de la Universidad Industrial de Santander (Colombia), por compartir sus experiencias durante las entrevistas. Expresamos también nuestros agradecimientos al profesor Guillermo Foladori, por la lectura y comentarios de una versión previa de este capítulo. Las dos primeras autoras manifiestan su gratitud a la Universidad Industrial de Santander por el proyecto Fortalecimiento de las capacidades de la Universidad Industrial de Santander en transferencia y comercialización de tecnologías, el cual está siendo financiado por Innpulsa. La tercera autora recibió soporte a través del proyecto Clúster NBIC: Construcción de proximidades entre actores que se articulan en una iniciativa de clúster en ciencias y tecnologías di(con)vergentes (Universidad Central, Colombia) para la participación en este estudio.

Fuentes consultadas

- AKRICH, M., Callon, M. & Latour, B. (2002). The Key to Success in Innovation part I: The Art of Interestement. *International Journal of Innovation Management*, 6(2), 187-206.
- BERNARD, H. R. & Ryan, G. W. (2010). *Analyzing Qualitative Data: Systematic Approaches*. Thousand Oaks, California: Sage Publications, Inc.
- CALLON, M. (1995). Algunos elementos para una sociología de la traducción. La domesticación de las vieiras y los pescadores de la bahía de St. Brieu. En J. M. Iranzo, J. R. Blanco, T. Gonzalez De la Fe, C. Torres y A. Cotillo (Eds.), *Sociología de la ciencia y la tecnología* (pp. 259-282). Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- CALLON, M. (2006). Luchas y negociaciones para definir qué es y qué no es problemático. La socio-lógica de la traducción. *Redes*, 12(23), 103-128.
- CALLON, M. (3 de octubre de 2012). *Les sciences sociales confrontées aux nouvelles pratiques de Recherche et d'Innovation (R&I)*. Recuperado el 20 de marzo de 2015, de Chaire Approches communautaires et inégalités de santé (CACIS) et du Centre de Recherche Léa-Roback, DSP, Montreal, Québec: <https://www.youtube.com/watch?v=ZvJyAE6X3Z0>
- CASAS, R. y Luna, M. (2001). Espacios emergentes de conocimiento en las regiones: Hacia una taxonomía. En R. Casas (Ed.), *La formación de redes de conocimiento: una perspectiva regional desde México* (pp. 35-78). Barcelona: Anthropos. México: Instituto de Investigaciones Sociales-UNAM.

- CORREA, P. (25 de septiembre de 2013). *Innovadores colombianos. Fique para limpiar ríos*. Recuperado el 26 de abril de 2015, de *El Espectador*: <http://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/fique-limpiar-rios-articulo-448795>
- COZZENS, S. (2012). The Distinctive Dynamics of Nanotechnology in Developing Nations. En N. Aydogan-Duda (Ed.), *Making It to the Forefront: Nanotechnology-A Developing Country Perspective* (pp. 125-138). New York: Springer New York.
- CUTCLIFFE, S. H., Pense, C. M. & Zvalaren, M. (2012). Framing the Discussion: Nanotechnology and the Social Construction of Technology-what STS Scholars Are Saying. *NanoEthics*, 6(2), 81-99.
- DE GORTARI, R. (2001). Complementariedad y conocimiento compartido en el campo de los materiales en México. En R. Casas, *La formación de redes de conocimiento: una perspectiva regional desde México* (pp. 298-353). Barcelona: Anthropos. México: Instituto de Investigaciones Sociales-UNAM.
- FOLADORI, G. (2013). Nanotechnology Policies in Latin America: Risks to Health and Environment. *Nanoethics*, 1-13.
- FOLADORI, G., Figueroa, S., Záyago-Lau, E. e Invernizzi, N. (2012). Características distintivas del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina. *Sociologías*, 14(30), 330-363.
- GOULET, F. y Vinck, D. (2013). La innovación por sustracción. Contribución a una sociología del desapego. *Redes*, 19(36), 13-49.
- GUBER, R. (2001). *La etnografía. Método, campo y reflexividad*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.
- HANAFLI, S. (2011). University systems in the Arab East: Publish globally and perish locally vs publish locally and perish globally. *Current Sociology*, 59(3), 291-309.
- HERRERA, B., Jaime, A. y Vinck, D. (2006). Mediator Agents of Knowledge in Glo/Cal Networks: What role play the research groups of Los Andes University in Bogotá? *53rd Annual North American Meetings of the Regional Science Association International*. Toronto, Canadá.
- HERRERA, B., Jaime, A., Pérez, C. B. y Vinck, D. (2012). El registro de invención en la Mediación como Agente de Conocimiento —MAC—. *Memorias IX Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología, ESOCITE*. Ciudad de México.
- HUBERT, M. y Spivak, A. (2009). Integrarse en redes de cooperación en nanociencias y nanotecnologías: El rol de los dispositivos instrumentales. *Redes*, 15(29), 69-91.

- INVERNIZZI, N. y Cavichiolo, C. (2009). Nanotecnología en los medios: ¿Qué información llega al público? *Redes*, 15(29), 139-175.
- INVERNIZZI, N. y Foladori, G. (2012). ¿Hacia dónde van las nanotecnologías en América Latina? En G. Foladori, N. Invernizzi y E. Záyago-Lau (Eds.), *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina* (pp. 229-233). México: Miguel Ángel Porrúa.
- INVERNIZZI, N., Foladori, G. & Maclurcan, D. (2008). Nanotechnology's controversial role for the South. *Science Technology & Society*, 13(1), 123-148.
- INVERNIZZI, N., Hubert, M. & Vinck, D. (2014). Nanoscience and Nanotechnology: How an Emerging Area on the Scientific Agenda of the Core Countries Has Been Adopted and Transformed in Latin America. En E. Medina, I. Da Costa Marques & C. Holmes (Eds.), *Beyond Imported Magic: Essays on Science, Technology and Society in Latin America* (pp. 225-244). Cambridge, MA: MIT Press.
- KAUFMANN, J. (2008). *L'entretien compréhensif* (2ª ed.). Paris: Armand Colin.
- KAY, L. & Shapira, P. (2009). Developing nanotechnology in Latin America. *J Nanopart Res*, 11(2), 259-278.
- KLEICHE-DRAY, M. y Chiapa Zenón, A. (2014). Colaboraciones y construcción de redes de los químicos mexicanos. En M. Kleiche-Dray y D. Villavicencio (Eds.), *Cooperación, colaboración científica y movilidad internacional en América Latina* (pp. 161-176). Buenos Aires: CLACSO.
- KLEICHE-DRAY, M. y Villavicencio, D. (2014). Colaboración científica y estructuración de las ciencias en América Latina. En M. Kleiche-Dray y D. Villavicencio (Eds.), *Cooperación, colaboración científica y movilidad internacional en América Latina* (pp. 9-16). Buenos Aires: CLACSO.
- KNORR CETINA, K. (1997). Sociality with Objects: Social Relations in Postsocial Knowledge Societies. *Theory, Culture & Society*, 14(4), 1-30.
- _____. (1999). *Epistemic Cultures: How the Sciences Make Knowledge*. Cambridge: Harvard University Press.
- KREIMER, P. (2006). ¿Dependientes o Integrados? La ciencia latinoamericana y la nueva división internacional del trabajo. *Nómadas* (24), 199-212.
- KREIMER, P. (2010). *Ciencia y periferia: nacimiento, muerte y resurrección de la biología molecular en la Argentina: aspectos sociales, políticos y cognitivos*. Eudeba.
- 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.
- _____. (2007). Chagas Disease in Argentina: Reciprocal Construction of Social and Scientific Problems. *Science Technology & Society*, 12(1), 49-72.

- LATOUR, B. (2008). *Reensamblar lo social: una introducción a la teoría del actor-red*. Buenos Aires: Ediciones Manantial.
- LOSEGO, P. y Arvanitis, R. (2008). La science dans les pays non hégémoniques. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 2(3), 334-342.
- MEYER, J.-B. (2008). La circulation des compétences, un enjeu pour le développement. *Annuaire suisse de politique de développement*, 27(2), 53-67.
- MILLS, C. W. (1986 [1961]). *La imaginación sociológica*. México: Fondo de Cultura Económica.
- MOERAN, B. (2009). From participant observation to observant participation. En S. Ybema, D. Yanow, H. Wels & F. Kamsteeg (Eds.), *Organizational Ethnography: Studying the Complexities of Everyday Life* (pp. 139-155). London: Sage Publications Ltd.
- OROZCO, L. A. & Chavarro, D. A. (2006). En J.L. Villaveces y J. Charum (Eds.), *De historia y sociología de la ciencia a indicadores y redes sociales. Análisis de la biotecnología para el estudio de comunidades científicas en el marco de los programas nacionales de ciencia y tecnología*. Bogotá: Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología, Javegraf.
- PEREZ, C. B., Jaime, A., Herrera, B. y Vinck, D. (2015). Emergencia de mediaciones de conocimiento entre Universidades a partir de colaboraciones internacionales: un caso Colombia-Francia en el campo de nanociencias. En P. R. Herrera Capdevilla, P. Amar Sepulveda y J. Saravia Arenas (Eds.), *Experiencias internacionales emergentes en gestión tecnológica y de la innovación para el desarrollo territorial. Memorias IV Congreso Internacional de Gestión Tecnológica e Innovación 2014*. Cartagena: Editorial Universidad Simón Bolívar.
- RAMANUJAN, K. (18 de septiembre de 2013). *Treated fibers clean dye-polluted waters*. Recuperado el 6 de diciembre de 2014, de Cornell Chronicle: <http://news.cornell.edu/stories/2013/09/treated-fibers-clean-dye-polluted-waters>
- ROBLES-BELMONT, E. (2009). Las redes científicas como respuesta a la emergencia de las nanociencias y nanotecnologías. *Redes*, 15(29), 93-111.
- SIGGELKOW, N. (2007). Persuasion with case studies. *Academy of Management Journal*, 50(1), 20-24.
- STAKE, R. (1995). *The art of case study research*. Thousand Oaks, California: SAGE Publications Ltd.
- SUÁREZ, M. & Dutrénit, G. (2014). The role of policy incentives in the reproduction of asymmetries within nanotechnology knowledge networks. *Science and Public Policy, Advance Access published April 26*, 1-13.

- Universidad Industrial de Santander (Septiembre de 2012). *La nanotecnología se pone de moda. El egresado destacado Juan Pablo Hinestroza visitó la UIS*. Recuperado el 26 de abril de 2015, de Cátedra Libre: <http://www.uis.edu.co/webUIS/es/egresados/boletines/6/nanotecnologia.html>
- (20 de junio de 2014). *Investigación con mucha fibra*. Recuperado el 3 de marzo de 2015, de Cátedra Libre UIS: <http://catedralibre.uis.edu.co/noticias/investigacion/item/111-investigacion-con-mucha-fibra.html>
- VALDERRAMA, A. y Jiménez, J. (2008). Desarrollos tecnológicos en Colombia: Superando Categorías de Oposición. *Redes*, 14(27), 97-115.
- YBEMA, S. & Kamsteeg, F. (2009). Making the familiar strange: A case for disengaged organizational ethnography. En S. Ybema, D. Yanow, H. Wels & F. Kamsteeg (Eds.), *Organizational Ethnography: Studying the Complexities of Everyday Life* (pp. 101-119). London: Sage Publications Ltd.
- YIN, R. (1994). *Case Study Research: Design and Methods* (2^a ed.). Thousand Oaks, California: SAGE Publications, Inc.

Nanotecnología y sistema agroindustrial: aprendizajes en torno al desarrollo de textiles funcionales en Argentina

Tomás Javier Carrozza*

Susana Silvia Brieva**

La construcción de un textil repelente al mosquito transmisor del dengue

Los desarrollos en el área de la agronanotecnología son incipientes en Argentina.¹ Entre los primeros esfuerzos de instituciones científico-técnicas nacionales, en este campo, se encuentra una experiencia que promueve una innovación que conjuga la aplicación de nanotecnologías, el uso de herramientas agroindustriales y la resolución de problemáticas de índole social, como es el caso de la prevención de enfermedades transmitidas por mosquitos vectores en el nordeste argentino, entre ellas el dengue.

A nivel internacional, la forma más usada en la prevención de estas enfermedades es el empleo del denominado “textil repelente”, mediante mosquiteros impregnados con insecticidas, que integran parte de la estrategia recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la prevención de la malaria en África. Junto a la fumigación con insecticidas de acción residual, este “textil repelente” se presenta como una de las soluciones más “adecuadas” para combatir esta enfermedad, y otras similares en esa región.

En el plano nacional, esta forma de prevención se desarrolló en el proyecto correspondiente al Fondo Argentino Sectorial (Fonarsec)² —presenta-

*Universidad Nacional del Mar del Plata, Argentina.

**Universidad Nacional del Mar del Plata, Argentina.

¹A los fines de este trabajo se considera como agronanotecnología al uso de desarrollos nanotecnológicos en cualquier componente de producción del sistema agroalimentario y/o agroindustrial. En este caso, en la producción de textiles derivados del cultivo de algodón.

²El Fondo Argentino Sectorial (Fonarsec), dependiente de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT), financia proyectos y actividades cuyo objetivo sea desarrollar capacidades críticas en áreas de alto impacto potencial y transferencia permanente al sector productivo.

do a la convocatoria del año 2010— denominado *FS NANO 0002: Nanotecnología para textiles funcionales* (FS-Nano), por un conjunto de instituciones públicas y privadas que poseían capacidades técnicas y recursos humanos formados en el tema.

La construcción de un textil repelente basado en el uso de nanotecnologías se compone de dos ideas centrales: por un lado, el desarrollo de textiles funcionales como un campo cada vez más amplio dentro de la industria textil, que son definidos como: “aquellos capaces de realizar funciones que excedan la naturaleza propia del textil” (Abraham, 2011: 39).

Así, en la visión de los investigadores, el proyecto por una parte aportaba al conocimiento en la prevención de enfermedades endémicas transmitidas por mosquitos, y por otra parte, era una innovación y agregado de valor para la cadena de producción textil.

A lo largo de este capítulo se analizará sociotécnicamente el proceso de construcción de un textil funcional con repelencia a mosquitos vectores de la enfermedad conocida como *leishmaniosis* cutánea³ y dengue.⁴ Centralizaremos el análisis en la trayectoria del proyecto FS-Nano, a fin de contribuir a la comprensión de los procesos de generación de conocimientos en el sistema agronanotecnológico argentino.

El capítulo se organiza de la siguiente manera: en primer lugar se presenta brevemente el abordaje teórico-metodológico que guía la investigación, a continuación se describen aquellos aspectos relacionados a los textiles repelentes y la salud pública; posteriormente se reconstruye la trayectoria sociotécnica del proyecto FS-Nano y, por último, se presenta una serie de reflexiones e interrogantes que se desprenden del análisis de dicha trayectoria.

La perspectiva analítica de las nanociencias y nanotecnologías en el marco de los estudios sociales de la ciencia y tecnología

Desde una concepción constructivista, sociotécnica e interactiva de los procesos, y en el marco de los Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología (ESCYT),

³La *leishmaniosis* cutánea o tegumentaria es una enfermedad transmitida por la picadura de un flebótomo del género *Lutzomyia* con hábitat en zonas selváticas y periselváticas de clima tropical y subtropical (Fernández Maidana *et al.*, 2004).

⁴El dengue, fiebre dengue, fiebre rompe huesos o fiebre quebrantahuesos, es una enfermedad viral transmitida por antrópodos mosquitos *Aedes aegypti* en nuestro continente, caracterizada por fiebre, cefalea, dolor retroocular, mioartralgias y, a menudo, exantema (Querales, 2002).

se integran y complementan conceptualizaciones provenientes del enfoque sociotécnico y de política, abordajes potencialmente complementarios pero aun escasamente interconectados o interrelacionados.

La perspectiva constructivista permite analizar el proceso de producción de conocimiento y desentrañar la compleja red de alianzas, estrategias y actores sociales involucrados en la construcción de conocimiento científico-tecnológico (Licha, 1995).

En el proceso de construcción de un textil repelente convergen y se entrelazan un conjunto de elementos y relaciones heterogéneas y complejas, como instituciones científicas y tecnológicas, mosquitos, industria textil, investigadores, dengue, convocatorias, insecticidas, procedimientos de prueba y equipo, entre otras. En el análisis se recurre a conceptos pertenecientes al enfoque sociotécnico que posibilitan la reconstrucción analítica de las complejas relaciones y cambios entre usuarios y herramientas, actores y producciones, instituciones y sistemas tecnoproductivos, asociadas, en este caso, al funcionamiento del campo de conocimiento nanotecnológico.

El punto de partida para el análisis sociotécnico es la identificación de los grupos sociales relevantes (GSR), concepto que remite a instituciones, organizaciones, grupos de individuos que comparten un conjunto de significados y relaciones problema-solución, en este caso, referidos al sistema agronano-tecnológico. Los distintos GSR definen si las soluciones funcionan o no, de acuerdo a si cumplen o no con sus objetivos o propósitos. Bijker (1995) sostiene que el “funcionamiento” es una contingencia que se construye social, tecnológica, política y culturalmente. Así, el “funcionamiento” o “no-funcionamiento” es una relación y es resultado de un proceso de construcción sociotécnica en el que intervienen elementos heterogéneos: sistemas, conocimientos, regulaciones, materiales, financiamiento, prestaciones, etcétera. Hace referencia a una interacción entre humanos y no-humanos: usuarios y artefactos, diseñadores y prototipos, planificadores y sistemas, evaluadores y tecnologías. No se trata de una condición estable. Un proceso de construcción de funcionamiento/no-funcionamiento es una secuencia: supone complejos procesos sucesivos de adecuación/inadecuación de soluciones tecnológicas a concretas y particulares articulaciones sociotécnicas, históricamente situadas. A su vez, la continuidad o discontinuidad de la condición de funcionamiento se sustenta en la articulación de alianzas sociotécnicas estables. Una alianza sociotécnica es, entonces, una coalición de elementos heterogéneos implicados en el proceso de funcionamiento no/funcionamiento de un artefacto o una tecnología (Thomas, 2009) en este caso, referidos y asociados al campo nanotecnológico

argentino bajo estudio, y su contribución a la prevención de enfermedades de alta incidencia en la población y mejora al sistema de salud nacional.

En el análisis se incluye, bajo esta perspectiva, la noción de trayectoria sociotécnica, que refiere al proceso de coconstrucción de productos, procesos productivos y organizaciones, instituciones, relaciones usuario-productor, relaciones problema-solución, procesos de construcción de “funcionamiento” y “utilidad” de una tecnología, racionalidades, políticas y estrategias de un actor (institución de I+D, universidad, etcétera), o, asimismo, de un marco tecnológico (Bijker, 2005) determinado. Este concepto —de naturaleza eminentemente diacrónica— permite ordenar relaciones causales entre elementos heterogéneos en secuencias temporales, tomando como punto de partida un elemento socio-técnico en particular (por ejemplo, una tecnología —artefacto, proceso, organización determinada—, una empresa, un grupo de I+D).

La generación de conocimientos científico-técnicos y solución de la problemática del dengue envuelve procesos de política en su resolución. En la perspectiva constructivista, la tecnología y la política se constituyen mutuamente, como dos caras de la misma moneda (Bijker, 2005), y la política puede ser entendida como una tecnología de organización social y de intervención sobre la sociedad (Serafim y Díaz, 2010). Desde esta visión, los análisis de política pública en términos de proceso, permiten la comprensión de cómo los actores definen los problemas y las agendas de política pública, cómo se formulan las mismas, cómo se toman las decisiones y cómo se validan las decisiones e implementan las acciones (Parsons, 2007, Serafim y Díaz, 2010), aspectos a considerar en el diseño y formulación de políticas públicas, a fin de promover el desarrollo social. A su vez, poder es un concepto relacional, tal como lo define Giddens (1979), una capacidad de los actores de asegurar resultados cuando los mismos dependen de la agencia de otros. El poder es ejercido, antes que poseído, y se encuentra presente en las relaciones e interacciones.

A través de una estrategia metodológica de tipo cuantitativo-cualitativo de carácter diacrónico, se integra la búsqueda, análisis y sistematización de la información secundaria disponible en instituciones públicas y privadas, tales como el Consejo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (Conicet), Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN), Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (Mincyt), y con la realización de entrevistas a profundidad a distintos actores participantes en la construcción del textil repelente pertenecientes al proyecto FS-Nano.

Los textiles repelentes y la salud pública

La forma más común de “textil repelente” es el uso de *mosquiteros impregnados con insecticidas*, acorde con la estrategia de prevención recomendada por la OMS para la malaria en África. Junto a la fumigación con insecticidas de acción residual, estas estrategias se presentan como las dos soluciones más “adecuadas” para tratar el problema de enfermedades transmitidas por mosquitos vectores y otras similares.

Si bien existen otras propuestas —cómo la quimioprofilaxis estacional—,⁵ las alternativas más usadas se basan en insecticidas como elemento principal para generar la prevención, proceso que deriva en un alto grado de coordinación y alineación respecto de los intereses de grandes empresas transnacionales productoras de estos insecticidas, como también de empresas especializadas en la fabricación de los mosquiteros.

Ambas estrategias conviven en el seno de las definiciones tomadas por la OMS. Sin embargo, el uso de mosquiteros está comenzando paulatinamente a imponerse sobre la aplicación de insecticidas. Las características asociadas a su duración y la relación costo-beneficio, impulsaron de manera significativa su uso, logrando estabilizarse en los últimos años como solución en el tratamiento de la malaria (véase cuadro 1).

Cuadro 1
FORMAS DE PREVENCIÓN CONTRA LA MALARIA
PROPUESTAS POR LA OMS

| <i>Solución</i> | <i>Aplicaciones</i> | <i>Mosquiteros</i> |
|------------------------------------|---|---|
| Duración | De 3 a 6 meses | Hasta 3 años |
| Significación por parte de los GSR | Aplicación a gran escala para prevención del usuario individual | Utilización por parte del usuario individual que puede generar prevención zonal |
| Población protegida | Usuarios | Usuarios y no usuarios |
| Alineación hacia otros grupos | Escasa | Posibilidad de trabajo con industrias locales |

Fuente: Elaboración propia basada en sitios web, OMS y Llanos y Soto (2005).

⁵ Se trata de la utilización de sustancias químicas para la prevención de una enfermedad.

La OMS le atribuyó a las propiedades del mosquitero la posibilidad de construir funcionamiento⁶ en la generación de dinámicas de inclusión que excedan el mero hecho de la prevención en sí misma, argumentando que es una alternativa de mayor estabilidad y alcance para combatir enfermedades transmitidas por mosquitos al compararlo con la aplicación de insecticidas.

Llanos Cuentas y Soto Calles (2005) describen las principales características del uso de mosquiteros como tratamiento para la prevención de malaria, entre las que destacan: la duración del tratamiento que supera ampliamente al uso de insecticidas; el alcance, ya que a diferencia de la aplicación puntual, en donde en algunos espacios se sigue utilizando DDT, el uso de mosquiteros ha logrado prevenir el avance del mosquito entre usuarios y no-usuarios y, por último, la posibilidad de alineación con otros grupos a nivel local mediante el establecimiento de alianzas con sectores económicos de países emergentes que puedan producirlos.

Este artefacto basa su funcionamiento en la utilización de un soporte material derivado del petróleo sin embargo algunos investigadores, a partir de los avances en la ciencia de los materiales durante los últimos años, han comenzado a indagar en la utilización de otros soportes para las moléculas de insecticida repelente. Entre estos, la construcción de soportes derivados de materiales de la industria textil, complementado con las oportunidades que ofrecen las nanociencias y nanotecnologías, ha tomado importancia en los últimos años, centrada en la idea de la generación de “prendas repelentes”. Esta co-construcción entre los textiles y las nanotecnologías se enmarca en los avances de los denominados “textiles funcionales” (Nardini, 2011).

Si bien, la malaria no es concebida como una problemática de relevancia en el campo de la salud humana, ya que no se han detectado casos en Argentina, las estrategias para prevención de enfermedades transmitidas por mosquitos resultan de utilidad. Existe un conjunto de enfermedades consideradas por los organismos estatales de salud, un problema público —entre las que se destaca el dengue—, donde las estrategias de prevención son similares a las aplicadas contra la malaria.

Un conjunto de instituciones científico-tecnológicas públicas y privadas ligadas a la actividad textil participan en la convocatoria del MNCYT-2010 presentando el proyecto FS-Nano: nanotecnología para textiles funcionales, con el objetivo de “desarrollar productos textiles con nuevas funciones mediante el empleo de herramientas nanotecnológicas” (Abraham *et al.*, 2012: 37).

⁶El “funcionamiento” o “no funcionamiento” de un artefacto es una evaluación socialmente construida, antes que una derivación de las propiedades intrínsecas de los artefactos (Bijker, 1995: 75).

Del premio innovar a los estudios en la selva

En la trayectoria del proyecto FS-Nano 0002: nanotecnología para textiles funcionales, desarrollado durante los años 2011-2014, se identificaron tres etapas denominadas: *pre Fonarsec*; *Fonarsec I* y *Fonarsec II*.⁷

Pre Fonarsec

La historia de los textiles funcionales repelentes en Argentina se remonta al año 2007. Su punto de partida se ubica en la división textil del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI Textil) (véase recuadro 1).

Recuadro 1 INTI TEXTIL

Los comienzos de la división textil de INTI se remontan al año 1967. INTI es definida como una organización público-privada que funciona como un centro de investigación dependiente del Sistema de Centros del Instituto Nacional de Tecnología Industrial. En esta división se trabajan diversas líneas de investigación, como ensayos y asistencia técnica. Entre estas hay una dedicada específicamente a textiles funcionales, que se transformaría en la idea central para la presentación al FONARSEC.

La decisión de trabajar sobre esta problemática deriva de un proceso de adecuación, donde los investigadores del INTI comprendieron la problemática generada por el mosquito del dengue como una oportunidad de insertarse en el campo textil, tanto a nivel nacional como internacional. De este modo, se integraron en las tendencias a nivel internacional respecto al desarrollo textil, con el trabajo interno del grupo, que focalizaba el eje del proyecto en la resolución de un problema de índole social, que a su vez les permitiría un proceso de legitimación dentro del país.

La construcción de una alianza con los textiles repelentes se inserta en un proyecto más amplio, destinado al estudio general de los textiles funcionales, y que busca obtener textiles con acabados de diferentes productos microencapsulados. Para poder llevar a cabo esta idea, se generó una articulación intrainstitucional con el INTI Química (véase recuadro 2), que permitió la búsqueda conjunta de soluciones a partir de innovaciones en el área textil.

⁷Los límites entre cada etapa sólo son analíticos. Pretenden ilustrar los cambios más significativos ocurridos a lo largo del proyecto, así como las alianzas sociotécnicas desplegadas por los diferentes grupos sociales relevantes.

Recuadro 2
INTI QUÍMICA

El centro INTI Química, denominado institucionalmente Centro de Investigación y Desarrollo de la Industria Química, engloba un conjunto de centros denominado Centros Química. En este centro se realizan tanto tareas de I+D como de servicios a terceros. Los servicios a terceros constituyen una de las principales fuentes de ingreso de recursos para el centro y abarcan gran parte del trabajo realizado.

El espacio que comparten ambos centros, denominado INTI Nanotecnología, es central para la constitución de la alianza. La creación de este espacio en el año 2006 unió a todos los actores que tuvieran alguna relación con el desarrollo de las nanociencias y nanotecnologías dentro del instituto. En este espacio se interrelacionan investigadores, equipo, programas, legitimaciones, textiles, moléculas, nanofibras, entre otros. La unificación e intercambio de experiencias y aprendizajes derivaron en los desarrollos que hicieron posible comenzar a construir un textil repelente.

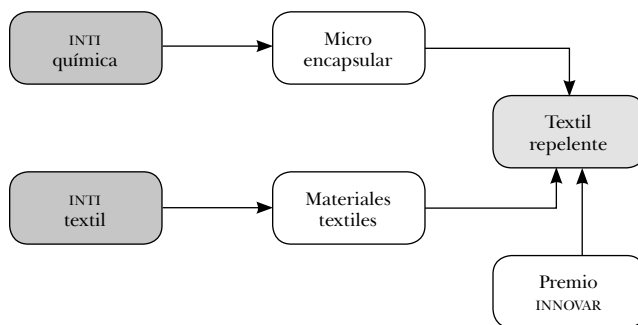
El interés del Centro Textil por constituir una alianza junto al Centro Química, tiene su origen en el trabajo de este último en el denominado Laboratorio de Sistemas de Liberación Controlada, creado durante el año 2004. Este centro posee el *know-how* del desarrollo de técnicas de microencapsular, que constituyen una parte esencial en la construcción de textiles funcionales repelentes.

A partir de esta primera alianza sociotécnica entre el INTI textil y el INTI Química, se comenzó a trabajar en colaboración en el desarrollo de textiles. El intento de integrar microcápsulas con diferentes funciones a los textiles se convirtió en uno de los objetivos principales de los centros, en un contexto internacional donde la industria privilegiaba textiles con estas características. Esta estrategia se podría definir como de búsqueda de una “ventana de oportunidad”⁸ por parte del grupo (véase diagrama 1).

En el año 2009 ocurrió un hecho significativo en la trayectoria del proyecto. Una de las investigadoras participantes en esta alianza obtuvo un premio en la muestra INNOVAR de ese mismo año, con base en el proyecto titulado “Tejidos inteligentes contra los mosquitos”, que consistía en microencapsular aceites esenciales repelentes y su posterior aplicación en prendas textiles,

⁸El concepto de ventana de oportunidad, desarrollado por Pérez (2001), hace referencia a las condiciones iniciales al momento de la aparición de una tecnología disruptiva. De acuerdo con la autora, en un primer momento, las reestructuraciones productivas podrían permitir a los países en vías de desarrollo insertarse en un nuevo “paradigma tecno-productivo”.

Diagrama 1
 ALIANZAS SOCIOTÉCNICAS EN EL MARCO DEL DESARROLLO
 DE TEXTILES FUNCIONALES POR PARTE DEL INTI



Fuente: Elaboración propia.

tales como chalecos, que liberan el producto de forma progresiva, manteniendo la repelencia por un intervalo de 30 días.

La obtención de este premio otorga la estabilidad a la alianza inicial necesaria para su legitimación en la búsqueda de futuros proyectos. La obtención de un premio, se puede pensar como una forma de clausura —al menos parcial— ya que significa al artefacto como algo “exitoso” dentro de espacios profesionales donde se desempeñan las instituciones participantes.

Desde este momento, el INTI planteó una serie de estrategias que les permitieron posicionarse dentro de los nuevos avances en el área textil. A partir de ello, el instituto logra establecer una serie de vínculos que viabilizan el acceso a una mayor cantidad de recursos y una profundización en el estudio y aplicación de técnicas de la industria textil.

Esta profundización en el desarrollo de textiles lleva a los investigadores a indagar en el campo de las nanotecnologías. Los actores se involucran en la búsqueda del desarrollo de fibras a escala nanométrica. Particularmente se concentran en procesos de innovación y desarrollo (I+D) basados en técnicas tales como el *electrospinning*,⁹ que dan lugar a la generación de materiales textiles con diferentes propiedades y conjugan el avance, tanto en el campo textil como en el de las nanociencias y nanotecnologías.

⁹“En los últimos 15 años se ha explorado una técnica novedosa para generar fibras poliméricas en el rango submicrométrico (debajo del micrón, la milésima del milímetro), que se denomina electrohilado y a la que se conoce más por su nombre en inglés, *electrospinning*. Esta técnica produce filamentos continuos con un rango de diámetros de sus hilos de 10 a 100 veces inferiores a los obtenidos por los métodos convencionales. Éstos se depositan formando una membrana o malla no tejida, que llamamos “material nanofibroso” (Abraham *et al.*, 2011: 58).

Desde los actores participantes de la alianza, indagar en las nanotecnologías no es un hecho azaroso. Las nanotecnologías no son solamente uno de los campos que más recursos en I+D ha recibido en los últimos años, también, por su forma de trabajo encuentra grandes facilidades de adecuación para el trabajo en el área textil. Por ello, la relación nanociencias y nanotecnologías-sector textil es una de las que más y mejores desarrollos ha logrado.

Paralelamente, durante el año 2009, desde la Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica, se realiza un llamado a concurso por parte del Fonarsec en una convocatoria específica para nanotecnología: FS-Nano 2010. En la misma, se establecen una serie de objetivos orientados a I+D de diferentes aspectos nanotecnológicos tales como nanomateriales, nanoencapsulados y nanosensores. Uno de los ocho proyectos seleccionados correspondió a la propuesta del grupo del INTI.

La presentación del proyecto se constituyó con base a la alianza inicial generada entre las divisiones Textil y Química del INTI. Desde ésta, y a raíz del grado de estabilidad que ya presentaba el desarrollo del textil funcional, se contactó a un conjunto de actores, tanto públicos como privados, para poder postularse al Fonarsec. Entre estos, convocaron al Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de los Materiales (Intema), de la ciudad de Mar del Plata, donde existía un grupo especializado en la técnica de *electrospinning*, que se convirtió posteriormente en un actor clave en la propuesta (véase recuadro 3).

Recuadro 3

EL INTEMA Y LA DIVISIÓN DE POLÍMEROS BIOMÉDICOS

El Intema es una unidad dependiente del CONICET y trabaja de forma conjunta con la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata. El mismo surgió en el año 1982, y en la actualidad es una institución referente en su área trabajando con redes de colaboración a nivel nacional e internacional. Se compone de 10 divisiones, de las cuales la de *Polímeros Biomédicos* forma parte del proyecto FS-Nano.

La división Polímeros Biomédicos comienza sus actividades en el año 1991, y actualmente se especializa en aplicaciones de ingeniería de tejidos y liberación controlada de agentes bioactivos, actividad por la que es convocada a participar en el marco del FS. Particularmente el interés en su convocatoria radica en el manejo de la técnica de *electrospinning* por parte de los integrantes del instituto, fundamental para el logro de los objetivos propuestos.

El proyecto presentado por INTI Textil, INTI Química y el Intema —denominado Nanotecnología para textiles funcionales— tuvo como objetivo

desarrollar textiles “innovadores” que permitieran brindar nuevas prestaciones, haciendo hincapié en aquellas relacionadas a la repelencia de insectos vectores de enfermedades de interés público. El mismo, recibió financiamiento del MINCYT —a través de la ANPCYT— en el año 2011, por un monto que superó los 3 millones de pesos. El proyecto tomo como base la búsqueda de innovaciones en el área textil, no obstante, la mayor parte del proceso de innovación se centró en el uso de la técnica de *electrospinning*, que a su vez puede ser utilizada en diversas áreas de aplicación, como la biomedicina, fármacos y medio ambiente.

La estrategia desplegada por los grupos de investigación les permitiría generar una serie de recursos, sobre todo instrumentales, que una vez terminado el proyecto se espera dejen una mayor “capacidad instalada” en los laboratorios de las instituciones locales. Esto no es un hecho menor, ya que los déficits de instrumental suelen jugar un papel clave en la conformación de redes de investigación a nivel internacional, y que en general derivan en procesos de subordinación de las agendas y desarrollos de I+D de los grupos de los países de la región respecto de los países centrales (Hubert y SpivakL’Hoste, 2009).

La articulación con el sector privado, requisito necesario para poder postularse a los fondos, se logró mediante la participación de la firma Guilford, S. A. —empresa con más de 50 años de trayectoria en el rubro— dedicada a la fabricación de artículos textiles en general —y la fundación PROTEGER—, organización que nuclea a diversos actores de la cadena de valor de la agroindustria textil y de indumentaria de nuestro país. En el proyecto FS-Nano, desde los institutos de I+D, se les asignaba el papel de “facilitadoras” al momento de llevar el proyecto a una escala “industrial.

Con el acuerdo de estas instituciones se constituyó el Consorcio Asociativo Público-Privado (CAPP), figura necesaria para acceder a los fondos de la ANPCYT. Desde una visión determinista y lineal de los procesos innovadores la conformación de los CAPP es conceptualizada por la ANPCYT con una forma de generar dinámicas de innovación, ya que descuentan que los acuerdos entre instituciones públicas y privadas, tendrán como resultado final una mejora en los procesos de I+D de estas últimas.

Las instituciones convocadas con base a su trayectoria y alianzas socio-técnicas generadas, alinean y coordinan un conjunto de artefactos heterogéneos que constituyen la base material sobre la que se apoya el proyecto, particularmente, aquellos a los que se les otorga sentido y adquieren un significado particular para la construcción del textil repelente, que en este caso son las microcápsulas, las tecnologías textiles y la técnica de *electrospinning* (véase cuadro 2).

Cuadro 2
TRAYECTORIA PREVIA DE LOS GSR
Y ARTEFACTOS INVOLUCRADOS EN EL CAPP

| GSR | Trayectoria previa | Artefactos |
|--------------------|--------------------------|----------------------------------|
| INTI Textil | Desarrollo de textiles | Material textil (micro) |
| INTI Química | Trabajo microencapsulado | Microcápsulas |
| Intema | Materiales biomédicos | Máquinas <i>electrospinning</i> |
| Fundación Protejer | Industria textil | Material textil (<i>macro</i>) |
| Guilford, S.A. | | |

Fuente: Elaboración propia.

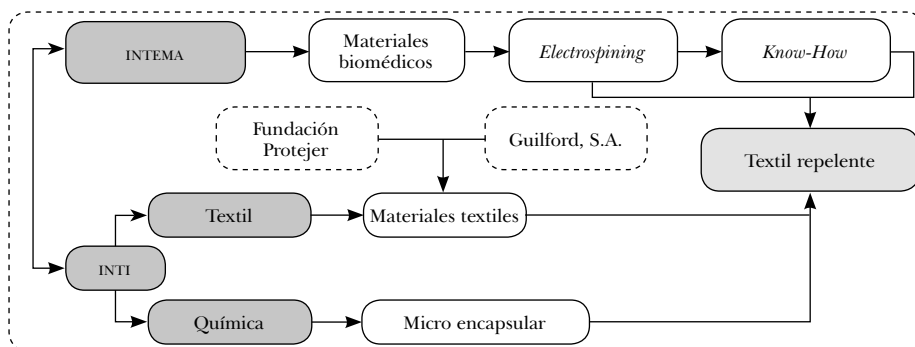
En esta etapa, los GSR encargados de la formulación del proyecto entendieron que la coordinación de estos tres artefactos garantizaba el logro del objetivo propuesto, al menos desde el punto de vista del “desarrollo básico”. Los dos primeros construían alianzas sociotécnicas con los institutos pertenecientes al INTI, mientras que la técnica del *electrospinning* —el *know-how*— estaba en manos de la división de polímeros biomédicos del Intema.

En una etapa inicial, los integrantes del proyecto asignan responsabilidades y un papel específico a cada grupo social relevante dentro del CAPP, con base a las trayectorias y pericia atribuidas a cada uno. En este esquema, podría definirse una alianza principal entre el INTI (con sus dos divisiones) y el Intema, donde cada institución aprovecha sus alianzas estables con un conjunto de artefactos específicos que ya han demostrado estabilidad a lo largo del tiempo (véase diagrama 2).

En el caso particular de los grupos que trabajan de forma conjunta en el INTI, la sección textil posee una marcada trayectoria en la investigación y desarrollo de tecnologías textiles relacionadas a aspectos, tanto físicos como químicos de los materiales, el estudio de sus características y propiedades, y la realización de tareas específicas de trabajo a microescala, que es pensado tanto para investigación básica como aplicada. En tanto, en la división química lograron —entre otras cosas— articular alianzas sociotécnicas con micropartículas, que han sido utilizadas por integrantes de este grupo en diferentes aplicaciones para trabajar en distintos sectores como el textil, el alimenticio y el farmacéutico.

Por su parte, el principal aporte al desarrollo del proyecto del grupo de Polímeros Biomédicos del Intema, reside en el trabajo con instrumental que permite aplicar la técnica de *electrospinning* —traducido como *know-how*—. Acceder al subsidio de la ANCPYT, significó para ellos la compra de equipo

Diagrama 2
ALIANZAS EN LA CONFORMACIÓN DEL CAPP



Referencias:¹⁰

| | |
|---------------------|------------------------|
| | Límits CAPP |
| Materiales textiles | Artefactos |
| INTI | Instituciones públicas |
| Fundación Protejer | Instituciones privadas |
| Textil repelente | Producto final |

más sofisticado y poder continuar las investigaciones, no sólo en la aplicación al sector textil, sino también en la mejora del proceso de aprendizaje sobre esta técnica. Al tratarse de instrumental de elevado costo, el aprendizaje previo se llevó a cabo mediante un proceso de adecuación sociotécnica a partir de materiales previamente existentes, mediante los que se construyó un equipo que permite aplicar la misma técnica, pero con menor complejidad relativa respecto de sus prestaciones.

Para el desarrollo del proyecto se estableció una lógica de trabajo en la cual cada actor aportaría específicamente a una parte del producto final. Inicialmente la alianza entre INTI y el Intema permitiría que mediante la técnica de *electrospinning* se ensayaran un conjunto fibras y soportes a nivel nano.

Posteriormente, el INTI realizó un conjunto de pruebas, determinando la más adecuada para su comportamiento como textil repelente. El textil que presentara mejores indicadores de repelencia, esto es, que mostrara menor

¹⁰Estas referencias serán utilizadas de forma similar a lo largo de todo el capítulo.

número de picaduras en el tiempo en las pruebas de laboratorio, sería considerado el más apropiado. Una vez seleccionada la “mejor”, Guilford, S. A. y la fundación Protejer constituirían una alianza al nivel de los materiales textiles y realizarían un posterior escalado. En este proceso, las empresas gozarían del beneficio de producir este textil a partir de los desarrollos llevados a cabo por instituciones públicas de I+D.

Gran parte del diseño y la concepción al momento de formularse el proyecto encuentra similitudes con el modelo lineal de innovación. Desde el Intema, pasando por el INTI y llegando a las firmas del sector privado, cada actor ocuparía un lugar estático en la “cadena” de producción y realizaría su aporte pura y específicamente, con base en su *know-how*, y las alianzas previamente conformadas y estabilizadas.

Fonarsec I

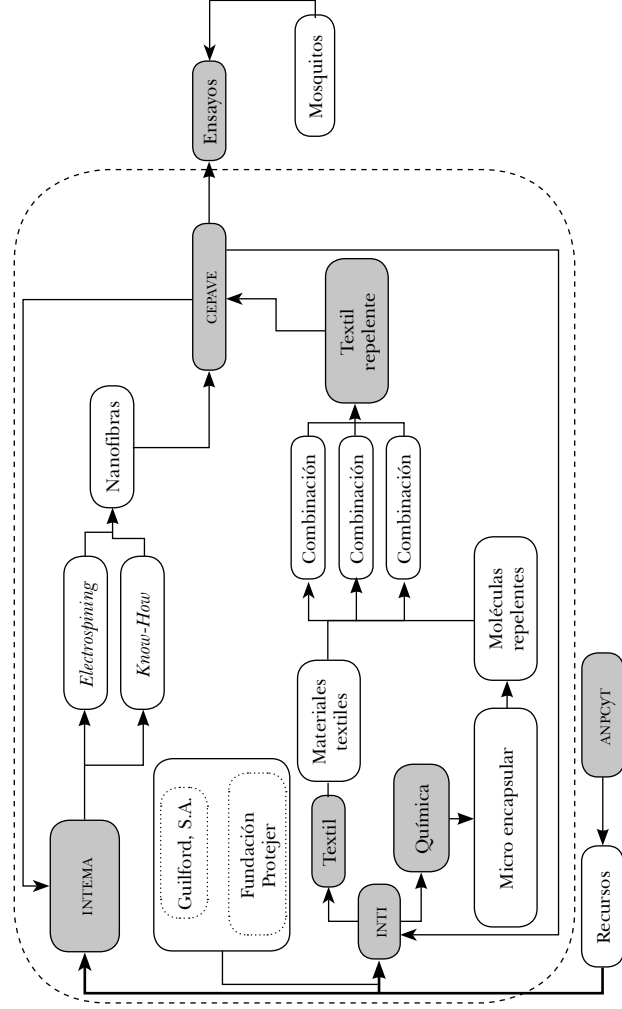
El financiamiento del proyecto comenzó durante el año 2011, esto supuso un plazo de realización de un proyecto de I+D a gran escala de tan sólo tres años.

Al plazo —relativamente escaso para la magnitud del proyecto— se sumó la modificación a la planificación inicialmente propuesta. El esquema planteado, sufrió cambios desde el comienzo del trabajo, como consecuencia que las alianzas sociotécnicas planeadas muestran dificultades para poder llevarse a cabo.

Resulta de interés destacar que los actores demuestran una escasa flexibilidad interpretativa al momento de plantear el proyecto. El esquema propuesto en el periodo Pre-Fonarsec era entendido como el único posible, y ataba el papel de cada actor a una serie de imaginarios asociados a los *know-how* de cada grupo. Los cambios que ocurren a lo largo de esta etapa, demuestran que los GSR —en particular a aquellos que tienen a cargo la coordinación del proyecto— poseen algunas carencias al momento de gestionar proyectos de esta magnitud, a los que se atribuye alto impacto y novedad en el diseño y formulación de políticas de ciencia y tecnología en Argentina.

Al momento de planearse un proyecto, los grupos sociales no tienen en cuenta ciertos artefactos y grupos necesarios para poder cumplir con sus tareas, como los relacionados con la gestión de materiales y artefactos. La sola aparición de los mismos modifica por completo la metodología “imaginada”, complejizando las tareas a realizar. Por otra parte, los planteos marcados en el proyecto presentado respecto de las fortalezas asociadas a los *know-how* que posee cada actor, distan de cumplirse tal como es previsto, planteando un rediseño de la estrategia de investigación.

Diagrama 3
 ALIANZAS SOCIOTÉCNICAS EN EL PRIMER PERIODO
 DE EJECUCIÓN DEL FONARSEC



Fuente: Elaboración propia con base en entrevistas.

En primer lugar, en el desarrollo del proyecto emerge un nuevo conjunto de actores y artefactos en la construcción del textil repelente que no estaban considerados inicialmente. Entre ellos, la ANPCyT y el Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores (CEPAVE). Ambos poseen una vasta trayectoria, tanto en la gestión de proyectos de I+D como en pruebas de campo de diferentes materiales que resultan de interés para el proyecto (véase cuadro 3).

Cuadro 3
TRAYECTORIA DE GRUPOS SOCIALES RELEVANTES EMERGENTES
EN EL PERIODO FONARSEC I

| GSR | Trayectoria previa | Artefactos |
|--------|-----------------------------|------------------------------------|
| ANPCyT | Gestión de proyectos de I+D | Recursos materiales y humanos |
| Cepave | Investigación de vectores | Material para ensayos Mosquitos |

Fuente: Elaboración propia.

La ANPCyT es un organismo dependiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, creado en el año 1997, que se dedica a la ejecución de proyectos de I+D en diversas áreas disciplinares, tanto en ciencias básicas como aplicadas. En esta trayectoria, la ANPCyT fue el organismo encargado en otorgar los fondos para la ejecución del proyecto FS-Nano y es quien evalúa su desarrollo, definiendo el posible “éxito” o “fracaso” del mismo.

El CEPAVE, es un centro de investigaciones dependiente del Conicet de la Facultad de Ciencias Naturales y el Museo de la Universidad Nacional de la Plata. Como su nombre lo indica, desde hace 35 años, se dedica al estudio de parásitos, vertebrados e invertebrados de importancia sanitaria y económica. Este centro fue el encargado de realizar las pruebas y ensayos a los diferentes materiales textiles repelentes desarrollados por los demás GSR.

Los papeles otorgados en un primer momento a cada GSR sufrieron una serie de modificaciones. El modelo lineal de innovación planteado, en donde se destacaban los intercambios entre el INTI y el Intema, es cambiado por uno asociado a una estrategia de trabajo “paralela” en la cual, cada institución, por separado, desarrollaría diferentes estrategias en la generación de textiles repelentes, las que serían probadas de forma simultánea por el CEPAVE. Luego se seleccionaría el material que presentara mejores resultados en las pruebas de picaduras en condiciones controladas de laboratorio.

Esta estrategia paralela lleva a que desde los centros del INTI decidan enfocar el trabajo en la metodología empleada en la obtención del premio

INNOVAR, asociada al desarrollo de uniones químicas de tipo covalente y no covalente de un insecticida a un soporte textil. Este proceso se repite con un conjunto de productos de origen “natural”, como diferentes tipos de aceites aromáticos, como la Citronella, conocida por su capacidad repelente a los mosquitos.

La alianza sociotécnica entre el INTI Textil y el INTI Química se mantiene y es desarrollada de forma análoga a la etapa pre-Fonarsec, en conjunto con la dirección ejecutiva del proyecto. Los investigadores consideran que su trabajo es al menos “innovador” en el contexto del Fonarsec. En este sentido, las técnicas empleadas ya han sido ampliamente estudiadas a nivel internacional, por lo que la estrategia se asocia a la obtención de resultados, más allá de la generación de I+D en un sentido estricto.

Paralelamente, el grupo de Polímeros Biomédicos del Intema, con base a su trayectoria previa, dedica sus esfuerzos a la evaluación de diferentes estrategias para la construcción de un textil repelente mediante la técnica de *electrospinning*. Estas estrategias podrían ser interpretadas como la parte “nanotecnológica” del proyecto, ya que la tecnología de *electrospinning* trabaja esencialmente generando fibras de tamaño nanométrico, las que pueden ser utilizadas con diversos propósitos, por ejemplo, mejorar la funcionalidad de los materiales textiles.

Específicamente, en este grupo se probaron diferentes estrategias que consistían, por un lado, en la unión de micro o nanocápsulas a los textiles mediante el uso de nanofibras generadas por *electrospinning*, y por otro lado, en la construcción de nanofibras que en su “interior” posean las partículas del material repelente. Estas dos alternativas serían probadas y prevalecerá aquella en la que se constituya la alianza más estable o, de forma similar, el material más “exitoso”.

Este trabajo se lleva a cabo con el instrumental de *electrospinning* importado desde Europa y obtenida mediante los fondos concursados en el proyecto. Al momento de la llegada del equipo, solamente había dos de estas máquinas en Argentina. Probablemente, la obtención de este equipo sea uno de los logros más importantes de su participación en el Fonarsec. Aun cuando el resultado final en el desarrollo del textil repelente puede o no ser exitoso, el equipo se convierte en un elemento central dentro de las dinámicas instrumentales a nivel nacional y otorga un capital que repercute en cualquier desarrollo posterior del grupo de investigación.

En este punto, la alianza INTI-Intema no funciona como tal, al menos en el plano de la I+D. Si bien existe contacto y trabajo conjunto en lo referido a la gestión de recursos técnicos y humanos, las estrategias de ambas

instituciones son desarrolladas de forma paralela y enviadas al CEPAVE para su evaluación.

En cuanto al sector privado, el papel asignado en un principio —asociando sus alianzas en el sector industrial y su *know-how* para el escalado— carece de funcionamiento. De este modo, la alianza también es inexistente o no funciona en el plano material, sólo existiendo un compromiso para el desarrollo “futuro”. El proyecto parece prescindir de las firmas, y el papel de las mismas se reduce al plano simbólico o a los fines de propaganda y legitimación en el sector productivo, ya que no poseen injerencia alguna en el proceso de I+D.

La ANPCyT constituye, entonces, sólo alianzas con el INTI y con el Intema, mediante los recursos monetarios puestos en juego, los que permiten, además, la obtención de diferentes materiales necesarios para el trabajo en el marco del Fonarsec, y también en otras tareas que exceden por completo el desarrollo de los textiles repelentes y están asociadas al desenvolvimiento diario de las instituciones, que generalmente afrontan situaciones de restricción presupuestaria.

Esta última alianza es la que redefine en parte las acciones planteadas originalmente, debido a que se tienen que adaptar los tiempos de trabajo a los plazos impuestos por la ANPCyT. La magnitud relativa del monto otorgado coloca a este organismo en posición de coordinar y alinear el trabajo, subordinando en este proceso al Intema e el INTI. Sin embargo, la ANPCyT muestra falencias en la gestión de estos recursos y proyectos, que se reflejan en tensiones entre ésta y los integrantes del proyecto.

A lo largo del desarrollo del proyecto, se detectan una serie de dificultades para la ejecución de los fondos, que van desde las imposibilidades de contratar personal extraproyecto hasta las dificultades en la importación del instrumental para *electrospinning*. Éstas, sin dudas, repercutirán posteriormente, no sólo en la relación interinstitucional, sino también en los resultados posibles, de ser obtenidos, y desnudarán un conjunto de problemas asociadas a la gestión de nuevos proyectos en el marco de las políticas más recientes en Ciencia Tecnología e Innovación (CTI).

El CEPAVE, por su parte, construyó alianzas tanto con el Intema como con el INTI. Su *know-how* asociado a la estabilidad en el manejo, tanto de los equipos de prueba como en la dinámica poblacional de los mosquitos, les permitió definir los materiales textiles más adecuados. En la problemática asociada a la prevención del dengue, este centro ocupó un lugar central, ya que se le atribuía la capacidad de definir la mejor solución.

En los ensayos, la forma de evaluación del CEPAVE consistió en someter guantes con el material textil a un recipiente con los mosquitos vectores. Aquel que a lo largo del tiempo presentaba la menor cantidad de picaduras, podría considerarse el más apto, tomando en cuenta la relación picaduras/tiempo. En este proceso la agencia ejercida por los mosquitos juega un papel importante, ya que al margen de las ideas previas sobre la calidad de los materiales, eran estos insectos los que definían aquel material posible de ser elegido para su posterior “escalado”.

En esta etapa del proyecto se definen cuestiones relativas a la dinámica de trabajo, dado que algunas definiciones a nivel de la propuesta no coinciden en gran parte con lo ocurrido. Aquellas cuestiones entendidas por los integrantes como “virtudes”, que derivan de una escasa flexibilidad interpretativa sobre el papel de cada integrante, los llevó a redefinir varias de las tareas asignadas, inicialmente asociadas, en muchos casos, a la gestión ejecutiva del proyecto.

Fonarsec II

La primera etapa permitió delinear gran parte de la dinámica de trabajo en el marco del proyecto. El papel de los GSR adquiere estabilidad relativa, sin embargo surgen un conjunto de cambios asociados al ingreso de nuevos GSR y artefactos, y de las nuevas alianzas constituidas por los mismos.

La creación de materiales textiles repelentes continúa de forma similar. El INTI y el Intema trabajan en forma separada y, para su evaluación envían las muestras al CEPAVE. Este proceso ocurre de forma simultánea, en parte por las dificultades de trabajar en forma conjunta, pero también como consecuencia del plazo de finalización del proyecto. Esto llevó a que ambas instituciones continuaran las pruebas pero con un conjunto reducido de materiales. El CEPAVE informaría los resultados derivados de la evaluación de aptitud surgida de la interacción entre los mosquitos y el material textil.

El INTI descartó el uso de sustancias repelentes de origen “natural” y continuó realizando pruebas sólo con el insecticida permetrina. Aunque durante Fonarsec I existía la creencia que sustancias derivadas del citronella podrían funcionar, sólo la permetrina demostró aptitud para poder fijarse al soporte textil. Esta selección pone en tensión algunos de los objetivos declarados inicialmente, que hacían hincapié en evitar el uso de sustancias sintetizadas artificialmente como los insecticidas.

Al momento de los ensayos técnicos la permetrina genera una alianza de gran estabilidad, pero su uso extensivo y sus características toxicológicas

atentan contra la clausura de la misma. Nuevamente, los investigadores ponen en duda los plazos de ejecución, ya que la posibilidad de avanzar en el microencapsulado de derivados del citronella y su anclaje en fibras textiles requiere tiempos que exceden las necesidades de la ANPCyT en mostrar resultados.

Mientras tanto, el Intema continuó las pruebas de las diferentes alternativas, planteando la necesidad de la generación de una patente para responder a dos cuestiones: por un lado la “exigencia” de crear conocimiento patentable como resultado del FS-Nano; y, por otro lado, como un modo de acumulación de capital científico-académico.

La posibilidad de obtener una patente es un logro que repercute de forma positiva para todos los integrantes del CAPP. Sin embargo, en este caso la contratación de una becaria por parte del Intema para desarrollar tareas en el proyecto genera tensiones al interior del proyecto. La obtención de conocimiento patentable, que obliga a mantener bajo secreto parte del conocimiento producido, pone en tensión a los investigadores, ya que para continuar con su carrera académica deben publicar y para ello se ven obligados a hacerlo a través de otras actividades científico-técnicas no vinculadas directamente al FS-Nano.

En cuanto a la participación del sector privado, la firma abandona el proyecto aduciendo una serie de problemas económico-financieros. Deja su lugar “vacante”, que sería más tarde ocupado por alguna otra de las firmas que integran la fundación Protejer.

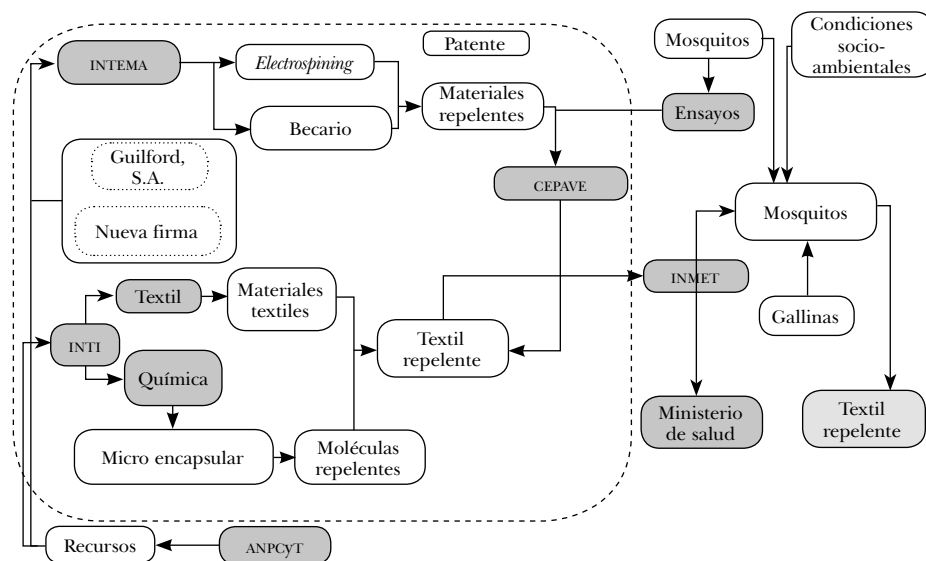
Este tipo de problemáticas son reflejo de la escasa experiencia de la ANPCyT en la construcción de instrumentos “innovadores” de políticas públicas. El anclaje en creencias y deseos del sector privado sobre la innovación prevalece sobre la real evaluación de las potencialidades de los sectores para lograr dinámicas de I+D efectivas.

En esta etapa los nuevos GSR pasaron a formar parte del sistema de alianza que compone el FS-Nano, y en estrecha relación con el CEPAVE. Frente a la necesidad de continuar probando los desarrollos textiles, los integrantes del proyecto se contactan con el Instituto Nacional de Medicina Tropical (Inmet). Este instituto, ubicado en la provincia de Misiones, es un organismo dependiente del Ministerio de Salud de la Nación, creado en el año 2011, con la misión de trabajar a profundidad las problemáticas de salud en regiones tropicales y subtropicales, entre las que se encuentra el dengue.

El *know-how* desarrollado por el Inmet, asociado a la evaluación de campo de diferentes sistemas de prevención de enfermedades, resulta trascen-

dente para el Fsnano debido a que las pruebas y determinaciones del CEPAVE sobre el mejor material, una vez concluidas, deben ser continuadas con evaluaciones “de campo”. Este paso, exigido por los protocolos internacionales, termina por definir la aptitud del mismo, y la posterior clausura y estabilización de la alianza con el textil repelente (véase diagrama 4).

Diagrama 4
ALIANZAS SOCIO-TÉCNICAS EN EL PERIODO FONARSEC II



Fuente: Elaboración propia.

La alianza con el Inmet, establecida con los materiales textiles, plantea un conjunto de nuevas tensiones y relaciones problema-solución. Las pruebas involucran una serie de alianzas sociotécnicas asociadas a un conjunto de cambios sobre los objetivos originalmente propuestos. Los procesos de evaluación, homologados a nivel internacional, llevan al CAPP a adecuarse hacia sus requerimientos, dado que sólo a través de su cumplimiento se puede plantear un proceso de escalado y posterior producción a nivel industrial.

Las evaluaciones en el CEPAVE fueron realizadas con materiales textiles sobre guantes. Desde el Inmet informan que para poder llevar cabo las pruebas de los materiales “exitosos en laboratorio”, estos deben adecuarse para su instalación en gallineros al aire libre, que se encuentran homologados

por la OMS. Si se espera avanzar a una escala mayor, las pruebas sólo pueden realizarse bajo las normas definidas por aquel organismo.

Si en las pruebas de laboratorio los mosquitos son aquellos activos al momento de definir la aptitud de los materiales basados en nanofibras, en las pruebas a campo se suman las gallinas. La interacción entre ambos organismos terminaría por clausurar y estabilizar al textil repelente. La alianza constituida entre los mosquiteros y mosquitos, las gallinas y la OMS, es aquella capaz de definir un material “exitoso” y otorga funcionamiento —o no— a la solución para la prevención del dengue en el noreste argentino.

En este punto, la idea inicial planteada por la sección textil de INTI dista de poder ser realizada. El material que se puede fabricar para ser vendido es el clásico mosquitero, utilizado en África para combatir la malaria. Diametralmente opuesto a la inserción en mercados relacionados con la moda e indumentaria textil.

Reflexiones finales

Del análisis en términos de trayectoria y alianza sociotécnicas de la construcción de textiles funcionales repelente a vectores de enfermedades de interés público y de base nanotecnológica, se desprende un conjunto de consideraciones respecto a los aprendizajes presentados en el plano cognitivo, económico y político-institucional.

En primer término, se destaca que los estilos predominantes de desarrollo de textiles funcionales por parte de las instituciones intervinientes en el proyecto, se basaron en conocimiento derivado de trayectoria y *know how* previos. En este sentido, no conformaron nuevas alianzas sociotécnicas que les permitieran generar nuevos conocimientos y experticia. Por el contrario, profundizaron en la aplicación de técnicas y destrezas que les permiten operar equipo e instrumental asociado a las *best practices* a nivel internacional.

Paralelamente, un aspecto escasamente considerado en el diseño y formulación de los proyectos es el papel y la participación de los usuarios. Más allá de la posible discusión en torno a sobre qué usuario recae la política —población o firmas—, se debe resaltar que no alcanza con considerar sólo a las empresas en la etapa de escalado de una innovación, sino que éstas deben formar parte de las discusiones acerca del desarrollo del proyecto desde la etapa de diseño. Esta visión lineal que piensa a la innovación como una cadena, no refleja las dinámicas de construcción del conocimiento, y menos se asocia a la resolución de un problema público, reforzado por la condición periférica de las instituciones, investigadores y empresas.

Desde el punto de vista económico, la obtención de fondos otorgados por la ANPCyT, permitió a las instituciones realizar las actividades del proyecto y superar parte de las restricciones presupuestarias que generalmente enfrentan para el desarrollo científico-tecnológico. Además, facilitó el acceso a instrumental y equipo que difícilmente hubiesen obtenido de no mediar el subsidio.

En el plano político-institucional, la conformación de las alianzas socio-técnicas permitió intercambios, aprendizajes y diálogos que difícilmente hubieran mantenido sin mediar la participación en el proyecto. Uno de los mayores problemas residió en la gestión del fondo por la inexperiencia de los grupos y las entidades otorgantes que no logran compatibilizar plazos, magnitud del proyecto y lógicas institucionales.

Cabe resaltar la necesidad, por parte de los organismos ejecutores de políticas de ciencia, tecnología e innovación, de incorporar nuevas formas de gestión y evaluación acordes a los objetivos planteados en sus instrumentos de política pública. Considérese, como ejemplo, las tensiones y controversias inter e intrainstitucionales generadas por la presión de la privatización y apropiación del conocimiento científico-tecnológico patentable. O, la relación y compatibilidad entre las normativas nacionales y las internacionales, que inciden fuertemente en los desarrollos de I+D al momento de su implementación y la resolución de problemáticas públicas de interés social.

Fuentes consultadas

- ABRAHAM, G. A., Caracciolo, P. C., Miró Specos, M., Escobar, G. y Hermida, L. (2012). Nanotecnología para textiles funcionales. *Revista de la Asociación Argentina de Materiales (SAM)*, 1, 36-46.
- BIJKER, W. (1995). *Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs. Toward a Theory of Sociotechnical Change*. Cambridge: MIT.
- (2005). ¿Cómo y por qué es importante la tecnología? *Redes*, 11(21), 19-53.
- CARACCILO, P. C., Tornello, P. R. C., Buffa, F., Ballarín, F. M., Cuadrado, T. R. y Abraham, G. A. (2011). Pequeñas fibras, grandes aplicaciones. *Ciencia hoy*, 21(121), 57-64.
- FERNÁNDEZ, G. J., Maidana, H. R., Perez Valega, E., Maccio, O. A. y Gorordner, J. (2004). Examen parasitológico directo en el estudio de la Leishmaniasis tegumentaria en animales y humanos. Descripción y análisis. *Memorias de las Comunicaciones Científicas y Tecnológicas UNNE*.

- GIDDENS, A. (1979). *Central Problems in social theory: action, structure and contradiction in social analysis*. California: Universidad de California, Berkeley y Los Angeles.
- HUBERT, M. y Spivak L'Hoste, Ana (2009). Integrarse a las redes de cooperación en nanociencias y nanotecnologías. El rol de los dispositivos instrumentales. *Redes*, 15(29), 69-91.
- LICHA, I. (1995). Perspectivas de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología. *Redes* 2(4), 129-138.
- LLANOS CUENTAS, A. y Soto Calle, V. (2005). El uso de los mosquiteros tratados con insecticida como una estrategia para la prevención de la malaria. *Revista Médica Herediana*, 16(2), 87-88.
- NARIDINI, D. (2011). El rol de los diseñadores en la industria textil nacional. *Escritos en la Facultad*, 71, 40.
- PARSONS, D. W. (2007). *Políticas públicas: una introducción a la teoría y la práctica del análisis de políticas públicas*. México: FLACSO.
- PÉREZ, C. (2001). Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil. *Revista de la Cepal*, 75, 115-136.
- QUERALES, J. (2002). Dengue: causas, características clínicas y prevención. *Caracas*, 110, 328-332.
- SERAFIM, M. y Dias, R. (2010). Construção Social da Tecnologia e Análise de Política: estabelecendo um diálogo entre as duas abordagens. *Redes*, 16(31), 61-73.
- THOMAS, H. (2009). Sistemas Tecnológicos Sociales y Ciudadanía Socio-Técnica. Innovación, Desarrollo, Democracia. En Tula Molina, F. (Ed.), *Culturas Científicas y Alternativas Tecnológicas*. 1^{er} Encuentro Internacional (pp. 65-86). Buenos Aires: MINCYT.

Inventario de empresas nanotecnológicas en México*

Edgar Záyago Lau**
Guillermo Foladori***
Liliana Villa Vázquez****
Richard P. Appelbaum*****
Eduardo Robles Belmont*****
Edgar Ramón Arteaga Figueroa*****
Rachel Parker*****

Introducción

Se presenta un inventario de las empresas de nanotecnología en México y se informa sobre su distribución geográfica, sobre la clasificación económica sectorial y sobre el lugar en la cadena de valor de las nanotecnologías. La metodología puede ser replicada sin mayores modificaciones a otros países. Los resultados registran un total de 139 empresas que trabajan con nanotecnología en México. El principal sector corresponde a la manufactura de productos químicos, y la mayoría de los productos vendidos por las empresas nanotecnológicas son medios de producción (materia prima, materiales intermedios, instrumentos y equipo) para ulteriores procesos industriales.

Este trabajo presenta los resultados de una investigación sobre las cadenas de valor de las nanotecnologías en México. La investigación se desarrolló a través de cuatro etapas. Durante la primera se realizó un inventario de las em-

*Proyecto Nanotechnology in the Mexican industrial policy. A comparative methodological framework UC MEXUS-Conacyt Collaborative Grant, 2014-2015.

**Unidad Académica en Estudios del Desarrollo. Universidad Autónoma de Zacatecas.

***Unidad Académica en Estudios del Desarrollo. Universidad Autónoma de Zacatecas.

****Unidad Académica de Economía. Universidad Autónoma de Zacatecas.

*****Center for Nanotechnology in Society. University of California-Santa Barbara.

*****Instituto de Investigaciones Matemáticas Aplicadas y en Sistemas. Universidad Nacional Autónoma de México.

*****Becario Conacyt.

*****Mowat Centre, School of Public Policy and Governance. Toronto University.

presas que trabajan con nanotecnología en México; se localizaron 139 empresas. La segunda etapa consistió en la identificación del sector económico al cual pertenece el producto principal con nanotecnología de cada empresa; para ello se utilizó la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas (CIIU) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). La producción de sustancias y productos químicos resultó ser la más representada. La tercera etapa consistió en ubicar los productos, e indirectamente las empresas, en una cadena de valor simple de las nanotecnologías. La fase de la cadena de valor con mayor representación fue la de productos intermedios. La cuarta etapa fue identificar si los productos de las nanotecnologías tenían como destino principal el consumo productivo de posteriores procesos industriales, siendo así medios de producción; o si el destino principal es el consumo individual, personal, por parte de los ciudadanos. La mayoría de los productos resultaron ser destinados a medios de producción.

El texto se presenta dividido en cuatro apartados. En el primero se reseñan inventarios de productos y empresas de nanotecnología en diferentes países y regiones, y se resume la situación mexicana. En el segundo se explica la metodología utilizada. En el tercero se presentan los resultados; y se culmina con las principales conclusiones.

Inventarios de nanotecnología y la situación en México

Vidrios autolimpiantes, recubrimientos hidrófugos, materiales más resistentes, textiles inteligentes y fármacos que se autodosifican, son algunos de los productos de las nanotecnologías que llegan al mercado. La materia a escala nanométrica presenta propiedades físico-químicas diferentes, y en muchos casos novedosas respecto de las que manifiesta la misma materia en tamaño mayor; de allí que los productos de las nanotecnologías resulten muchas veces multifuncionales, o desarrollen funciones que no se encuentran en equivalentes convencionales. Las primeras empresas con venta de productos de las nanotecnologías empezaron a operar en la segunda mitad de la década de los años noventa. Zyvex, por ejemplo, surgió en 1997 en Estados Unidos y se especializa en el desarrollo de nanomateriales para varios sectores industriales (Zyvex, 2015). La compañía Nanotex abrió sus puertas en 1998, y manufactura textiles con propiedades físico-químicas similares al manto de algunos animales, lo cual les permite repeler polvos y humedades (Nanotex, 2015). Sin embargo el rápido crecimiento de las nanotecnologías

en el mercado ocurrió entrada la primera década del siglo XXI. Como resultado del impulso que ocasionó el lanzamiento de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de Estados Unidos en 2001, empresas de varios países se integraron a la competencia por ganar espacios en el mercado nanotecnológico mundial. Este mercado se estimó en 339 mil millones de dólares en 2010 y 731 mil millones de dólares en 2012 (Luxresearch, 2014).

Varios factores llevaron a que algunas instituciones y gobiernos comenzaran a registrar o inventariar los productos de las nanotecnologías que entraban al mercado y las empresas que los producían. Entre estos factores está tanto la relevancia económica de esta revolución tecnológica, que augura cambios a veces disruptivos en la organización de la producción y en la división del trabajo, como los potenciales riesgos a la salud y el medio ambiente que, por desconocidos, requieren de atención particular.

El primer inventario público global sobre productos de las nanotecnologías fue creado en 2005 por el Woodrow Wilson International Center for Scholars (wwics), en Washington, D.C., Estados Unidos. Dicho inventario, ahora en su segunda versión y con más de 1,800 productos registrados, es una iniciativa compartida con el Instituto de Tecnología Crítica y Ciencia Aplicada del Instituto Tecnológico de Virginia (ITC-VT). La orientación del ITC-VT en materia tecnológica hizo factible la validación de los productos registrados en la base de datos (wwics, s.f.). El punto de partida de la recopilación de datos fue el análisis sistemático de la web y el complemento de tal información por iniciativa de algunas empresas. Este inventario se construye a partir del producto nanotecnológico en el mercado, por lo que existen varias empresas que obtienen más de un registro.

Nanowerk es un sitio web que tiene el objetivo de difundir información sobre el desarrollo de las nanotecnologías. Mantiene varias bases de datos, incluyendo un registro global de compañías nanotecnológicas (nanowerk.com, 2015). Las empresas se clasifican en orden alfabético según el país donde se localiza la matriz. Estados Unidos lidera con 1,025 empresas, le sigue Alemania con 210, el Reino Unido con 143, Japón con 54, Suiza con 46, y otros países con menor cantidad.

Alemania tiene un inventario de las instituciones involucradas en el desarrollo de las nanotecnologías en el país. El Ministerio Federal de Investigación y Educación es el encargado de mantener este inventario, que incluye redes de investigación, laboratorios, universidades, agencias de gobierno, organizaciones no gubernamentales (ONG), museos y empresas. De acuerdo con la información disponible en su sitio web, el inventario de

empresas nanotecnológicas registra 830 pequeñas y medianas, y 279 grandes. Los registros están clasificados según el sector de aplicación (automotriz, químico/materiales, construcción, energía, equipo, salud, etcétera) y las disciplinas tecnológicas que complementan (biotecnología, óptica, química, etcétera) (MFIYE, 2015).

El Gobierno de Canadá mantiene un directorio nacional de compañías nanotecnológicas administrado por el Ministerio de Industria (Industry Canada-[IC]). El registro es voluntario y funciona como un mecanismo de vinculación entre las partes interesadas en el área. El directorio contiene dos subdirectorios: el primero se organiza en 3 subdivisiones de acuerdo con usuarios, productores y servicios que se proveen; el segundo se subdivide en función de los nanomateriales utilizados (metálicos, súper aleaciones, polvos metálicos, materiales de carbón, materiales compuestos, etcétera) (IC, 2015).

Dinamarca tiene un inventario de productos de las nanotecnologías que circulan en el mercado local: Nanodatabase. El inventario es patrocinado por el Consejo Danés de Consumidores, el Departamento de Ingeniería Ambiental y el Consejo Ecológico. El registro en el inventario se basa en la contribución de consumidores primordialmente. Para registrar un producto se llena un formulario en línea, en el cual se ingresa el nombre del producto y los datos generales de la empresa, además de anexar una foto del producto. Para comienzos del 2015 se tenían identificados 1,423 productos (Nanodatabase, 2015).

En Argentina, la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN) mantiene un catálogo que ofrece información sobre empresas, proveedores, equipos y servicios de la cadena de valor de las nanotecnologías en el país. El método para incorporar nuevos registros al catálogo se hace mediante el llenado de un formulario y el envío de fotografías de los productos (FAN, 2012). Este procedimiento es similar al utilizado en Dinamarca o en Canadá. El inventario tiene algo más de 40 registros.

También hay bases de datos regionales o estatales. En Canadá las provincias de Ontario, Quebec y Alberta mantienen inventarios desde hace unos años. Sin embargo, el inventario de Alberta es específico sobre entidades manufactureras. El inventario NanoAlberta utiliza un mapa georeferencial para ilustrar la ubicación de las más de 90 empresas y factorías en esa provincia (NanoAlberta, 2015). En Estados Unidos también hay inventarios estatales, como en el caso de California (Frederick, 2014) y Massachusetts (azonano.com, 2014).

Como pudimos observar, existen algunos inventarios nacionales y regionales que dan seguimiento a la generalización de las nanotecnologías. La mayoría de los inventarios utilizan la web como fuente para ubicar datos y, consecuentemente, registrar productos y empresas.

Al igual que la mayoría de los países, México colocó en sus planes de Ciencia, Tecnología e Innovación a las nanotecnologías como área prioritaria de desarrollo (Foladori e Invernizzi, 2013). Sin embargo, no existe un organismo gubernamental específico para orientar o programar este campo tecnológico, en contraste con lo que ocurre en muchos otros países, como Estados Unidos, China, Alemania o Japón entre los de vanguardia, o inclusive Brasil o Argentina en América Latina. Ha habido, no obstante, inversiones federales y estatales que muestran la intención por promover estas tecnologías. Tres tipos de inversiones destacan: laboratorios especializados, redes de investigadores y parques industriales.

El Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) es sede del Laboratorio Nacional de Nanotecnología (NaNoTeCh). Este laboratorio abrió sus puertas en 2006 y contó con financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). El NaNoTeCh se encuentra en Chihuahua y tiene entre sus objetivos apoyar a las instituciones y empresas nacionales en el desarrollo de aplicaciones, materiales e investigación en el área (CIMAV, 2015). Otro que destaca es el Laboratorio Nacional de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología (Linan), ubicado en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT). El Linan tiene una cartera de clientes que abarca instituciones públicas y privadas de investigación, así como empresas nacionales y extranjeras. El servicio que este laboratorio provee es el análisis y caracterización de nanomateriales de alta calidad (Linan, 2015). En el directorio de laboratorios nacionales del Conacyt también está el Laboratorio Nacional de Nano-fabricación (Nanofab), con sede en el Centro de Nanotecnología y Nanociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en Ensenada, Baja California. El Nanofab se creó en agosto de 2014 y entró en operación a principios de 2015; se compone de tres cuartos limpios distribuidos en 200 metros cuadrados, y tiene el objetivo de desarrollar aplicaciones electrónicas, médicas, automotrices y petroleras, primordialmente (Nanofab, 2015).

El segundo tipo de inversión se ha dirigido a la creación de redes nacionales de investigación. La Red de Nanociencias y Nanotecnología, creada en 2009, es una red de investigadores de las ciencias naturales e ingenierías, principalmente. Tiene varios objetivos, como el hacer un diagnóstico del estado del arte de las capacidades en nanotecnología dentro del país y vincularlas con la solución de problemas específicos (RNYN, s.f.). Los resultados de

la convocatoria 2014 para el registro y estructuración de redes temáticas ¿del Conacyt anunciaron la formación de la Red Internacional de Bio-nanotecnología con impacto en Biomedicina, Alimentación y Bioseguridad. La institución sede es la UNAM y dos entidades, la Coordinación de Investigación Científica y el Centro de Nanotecnología y Nanociencias, que funcionan como nodos administradores (Conacyt, 2014).

El tercer tipo de inversión ha sido la creación de parques científico-industriales especializados en nanotecnología. El proyecto bandera del gobierno mexicano es el Clúster de Nanotecnología de Nuevo León (CNNL), el cual agrupa un importante número de empresas nano. El CNNL funciona bajo el modelo de la triple hélice, vinculando academia, empresas y gobierno para generar ventajas competitivas (González-Hernández, 2011a). El CNNL entró en operaciones en 2008 y cuenta con una incubadora especializada en el desarrollo de nanomateriales para su comercialización. A pesar de las inversiones y desarrollo de las nanotecnologías en diversas instituciones, no existe en México un registro que identifique dónde se investiga, qué se produce o qué se vende con nanotecnología. Sin embargo, como miembro de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), y dado que ésta ha lanzado encuestas piloto e iniciativas de registro de información sobre nanotecnología en varios de sus países, México ha incorporado a su sistema de estadísticas económicas, encuestas específicas sobre nanotecnología a partir de 2011.

En 2012 el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) presentó los resultados de la primera encuesta sobre nanotecnologías (Encuesta sobre investigación y desarrollo tecnológico y módulo sobre actividades de biotecnología y nanotecnología [ESIDET]). La unidad para la muestra fueron las empresas con 20 o más empleados dedicadas a actividades industriales, mercantiles o de prestación de servicios con fines o no lucrativos (INEGI, 2014). La encuesta ofrece cifras globales, estimando en 188 a las empresas que trabajan con nanotecnologías en México. Esto colocó al país en octavo lugar de entre los países miembros de la OCDE (OECD, s.f.). Los datos de la muestra son confidenciales, por lo cual no se conocen las empresas encuestadas ni la rama productiva o el producto de las nanotecnologías.

En 2013 una investigación académica, realizada el año anterior a partir de información de la web, identificó 101 empresas de nanotecnología en México y las clasificó según el sector económico que el producto de nanotecnología en el mercado representaba (Záyago *et al.*, 2013). Esta investigación constituye el antecedente de la que ahora se presenta a partir de una investigación más exhaustiva.

Metodología

Las cuatro fases de la investigación requirieron la aplicación de cuatro metodologías específicas. La primera para la elaboración de un inventario, con el propósito de identificar las empresas de nanotecnología; la segunda para establecer la clasificación económica sectorial; la tercera para ubicar la producción en términos de una cadena simple de valor de las nanotecnologías; y, la cuarta para agrupar los productos según el destino sea para medios de producción de ulteriores procesos productivos, o bien, para productos de consumo personal.

Inventario de empresas de nanotecnología

La identificación de empresas de nanotecnología implicó una búsqueda sistemática y el uso de criterios de validación de los datos obtenidos durante un periodo de siete meses, entre septiembre de 2014 y marzo de 2015.¹ El punto de partida fue el producto o productos con nanotecnología que la empresa lanzaba al mercado. En la gran mayoría de los casos las empresas publicitaron sólo un producto con nanotecnología. En los pocos casos en que se encontró más de uno se seleccionó el primero identificado. La información fue recopilada a partir de diferentes fuentes: búsqueda en la web (los siguientes identificadores fueron utilizados: nano*+México, producto+México+nano*, empresa+ México+nano*); artículos científicos y de divulgación; presentaciones en encuentros, foros y congresos; entrevistas con investigadores; revisión hemerográfica de los principales periódicos de México (por ejemplo *La Jornada*, *Reforma*, *Milenio*, *El Universal*) y sitios de noticieros (*CNN-español*, *Unotv*, *MVS-Noticias*, etcétera); propaganda en medios de comunicación; empresas localizadas en los parques especializados; proyectos de cooperación y otros esquemas vinculantes entre investigadores y empresas (resultados de convocatorias del Conacyt, por ejemplo). Una vez establecida una lista preliminar que identificaba nombre de empresa, producto en el mercado, localización geográfica, referencia de información y datos accesorios, se procedió a la validación de dicha lista mediante alguno de los siguientes criterios:

- La empresa explicitó en su página web la aplicación o utilización de nanotecnologías.²

¹La cantidad de productos y empresas de nanotecnología con presencia en el mercado pueden cambiar diariamente, por ello es importante considerar el espacio temporal que abarcó la investigación.

²Se utilizaron tres métodos para encontrar la información en la página de la empresa: 1) operador de búsqueda de Google + palabras claves (nanotecnología, nano, nanopartícula,

- Existía propaganda del producto donde era manifiesto el contenido nanotecnológico.
- Voceros de la empresa validaron el uso de nanotecnología en artículos, entrevistas o presentaciones públicas.

El resultado arrojó 139 casos confirmados. La información se ordenó en una matriz que incluye: nombre de la empresa, ubicación geográfica (estado y ciudad), localización de la matriz en el extranjero cuando fuese el caso, tamaño de la empresa (número de empleados),³ manufactura local o en el extranjero, referencia web o publicación de validación, y fecha del registro.⁴

El total de empresas nanotecnológicas en el mercado mexicano es sumamente difícil de conocer en un momento determinado; por lo tanto, el inventario que aquí se presenta no es ni exhaustivo ni estadísticamente representativo. Es, no obstante, el único inventario amplio y sistemático que puede dar indicaciones generales sobre la orientación del desarrollo de las nanotecnologías a la fecha. El resultado obtenido de 139 empresas identificadas con nombre, dirección y producto nanotecnológico es diferente de la estimación por muestreo a la cual llegó el INEGI en 2012 con un resultado de 188 empresas (INEGI, 2014).

Como el inventario se realizó a partir de los productos en el mercado, quedaron fuera, en primera instancia, aquellas empresas que realizan I+D en nanotecnología, pero que no producen. Este podría ser el caso de empresas que tienen patentes en nanotecnología, pero no fue posible identificar ningún producto en el mercado. También cuando la empresa tiene un proyecto financiado de investigación en nanotecnología, pero no fue posible identificar productos. Es claro que una empresa que lanza productos al mercado también puede estar realizando I+D, pero esta información no fue posible corroborarla. Aunque restringida a empresas que no tienen producto confirmado en el mercado, y por tanto subestimada, la información sobre I+D en nanotecnología fue registrada en una segunda instancia.

nanomaterial; ejemplo nano site: [www.\(nombre/ruta\).com](http://www.(nombre/ruta).com); 2) el motor de búsqueda del sitio web, cuando estaba disponible, y 3) una búsqueda manual en los catálogos en línea de productos o en el formato descargable.

³Se utilizó el criterio de número de empleados: micro (1 a 9), pequeña (10 a 49), mediana (50 a 249), y grande (250+).

⁴La matriz con la información es accesible en la página web de la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS).

Clasificación de los productos nanotecnológicos según sector económico

La segunda fase de la investigación consistió en establecer la clasificación económica sectorial. Mediante procedimiento manual se adjudicó la clasificación ISIC/4 para cada uno de los productos nanotecnológicos del inventario, y a partir del buscador correspondiente de la página web de Naciones Unidas.⁵ ISIC/4 es la identificación —en inglés— de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas (CIIU), revisión 4 (International Standard Industrial Classification of All Economic Activities) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). La CIIU se utiliza en la mayoría de países y organismos internacionales para clasificar sectores económicos (ONU, 2006). La plataforma se basa en una codificación alfanumérica jerárquica, y clasifica según lo que llama “actividades”, y éstas incluyen tanto la manufactura de productos como servicios. Comienza con 21 secciones de acuerdo con una letra del alfabeto y, posteriormente, utiliza dos dígitos para clasificar la división, tres para el grupo y cuatro para la clase (sección, división, grupo, clase) (ONU, 2008). A cada uno de los productos le fue adjudicada esta clasificación. Como se trataba de productos tangibles, todos ellos corresponden a la sección manufactura, identificada con la letra C por la CIIU. Esta sección incluye las actividades que conllevan a la *transformación física* de los materiales para obtener un producto (ONU, 2006: 29). En los casos en que se identificaron empresas que realizaban I+D en nanotecnología, pero no se registraban productos elaborados, también se les adjudicó la clasificación CIIU de la sección M “actividades profesionales y científicas” que incluye I+D.⁶ El resultado de esta clasificación fue incorporado a la matriz; así, por ejemplo, un cosmético con nanotecnología fue clasificado como C 2023, que según ISIC/4 incluye:

Hierarchy⁷

- Section: C-Manufacturing
- Division: 20-Manufacture of chemicals and chemical products
- Group: 202-Manufacture of other chemical products
- Class: 2023-Manufacture of soap and detergents, cleaning and polishing preparations, perfumes and toilet preparations

⁵El buscador en línea está disponible en <http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regs.asp?Lg=1>

⁶No se incluyeron instituciones de educación o laboratorios públicos; solamente empresas privadas.

⁷Recuperado de <http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regs.asp?Cl=27&Lg=1&Co=2023&qryWords=2023>

Explanatory note

This class includes [entre muchos otros]

–beauty and make-up preparations

Ubicación en la cadena de valor de las nanotecnologías

La tercera fase de la investigación requirió una metodología para ubicar cada uno de los productos en la cadena de valor simple de las metodologías. Se utilizó como guía el proyecto California in the nano-economy, que registra a las empresas de nanotecnología en la cadena de valor (Frederick, 2014).⁸ Este proyecto usa como estructura de base una cadena de valor simple de las nanotecnologías desarrollada inicialmente por Luxresearch (2004). Esta cadena considera las siguientes etapas o fases:

- 1) *Nanomateriales*. Se trata de materiales con una, dos o tres dimensiones en la nanoescala.
- 2) *Nanointermedios*. Los nanointermedios normalmente funcionalizan nanopartículas o nanoestructuras, o hacen compuestos para ser aplicados a los productos finales.
- 3) *Productos finales nanohabilitados*. Se trata de productos finales que incorporan nano materia prima y/o nano intermediarios. Son destinados al consumidor final o a la industria como medio de producción.
- 4) *Nanoherramientas, equipo y maquinaria*. Se incluye equipo de medición, manipulación, análisis y producción de nanomateriales y nanoestructuras, o su aplicación a otros procesos productivos.

En esta investigación registramos la investigación y el desarrollo (I+D) en nanotecnología, aunque de manera parcial, pero que puede ofrecer interesante luz sobre la orientación de la I+D de nanotecnología en México.⁹

Esta clasificación en la cadena de valor no puede tomarse como cerrada ni exacta, dada la variedad de productos de las nanotecnologías. La idea general es distinguir grandes etapas en la investigación (de básica a aplicada) y en la llegada del producto al usuario final (como medio de producción o medio de consumo). Nano materias primas constituyen la primera etapa de

⁸El proyecto agrega abundante información sobre los diferentes agentes que colaboran, a nivel de educación, apoyo institucional, administrativo, regulatorio, etcétera. Esta información no fue incorporada a nuestra investigación sobre empresas de nanotecnología en México en esta primera instancia.

⁹Se repite aquí la salvedad de que esta fase está siempre subestimada, en virtud de que la investigación parte del producto final en el mercado y sólo recoge información de I+D cuando la empresa sólo realiza esta actividad sin producir mercancías tangibles.

producción material, en la cual se obtienen materiales a escala nano, sean partículas o estructuras. La segunda etapa está constituida por la composición, funcionalización o adaptación de la materia prima para poder ser aplicada en otros procesos industriales. El concepto de producto final sugiere que dicho producto no sufre nuevas transformaciones físico-químicas, y eso lo distingue de los productos intermedios.

Para efectos prácticos de la clasificación de los productos nanotecnológicos en la cadena de valor, se utilizaron los conceptos que se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1
CONCEPTOS CLAVE PARA IDENTIFICAR PRODUCTOS DE LA
NANOTECNOLOGÍA EN LA CADENA DE VALOR

| <i>I+D</i> | <i>Materia prima</i> | <i>Materiales intermedios</i> | <i>Productos finales</i> | <i>Instrumentos de medición y manipulación</i> |
|---|---|---|---|---|
| Empresas que no venden producto pero realizan investigación en nanotecnología | Nanopartículas Nanofibras Nanotubos Nanocables Nanopartículas esféricas | Recubrimientos Catalizadores Sensores y NEMS Generadores y almacenadores de energía Transportadores de fármacos Circuitos integrados Nanocompuestos | Vestimenta deportiva Artículos para el hogar Productos de construcción Transporte Electrónicos y computadoras Productos para el cuidado personal Alimentos y productos agrícolas Productos médicos y medicinas | Equipo o herramienta dedicada al análisis, desarrollo, producción o aplicación de nanomateriales o materiales nanoestructurados |
| Empresas con patente | Nanocapas Nanopelículas | | | |
| Empresas con convenios de I+D con universidades y centros de investigación | | | | |

Fuente: Excepto la columna I+D, el resto está tomado de Stacey Frederick, *California in the nanoeconomy*. Recuperado de <http://californiananoeconomy.org/>

Con base en los conceptos anotados arriba y los términos clave cada uno de los productos fue clasificado manualmente, siguiendo la información y descripción que del producto ofrece el productor.

Carácter del producto en el proceso de acumulación de capital

Los productos finales pueden ser destinados a nuevos procesos de acumulación de capital (consumo productivo) y, por tanto, ser medios de producción; o bien pueden ser destinados al consumo individual de las personas. Esta

información es útil para entender el carácter de la revolución de las nanotecnologías en el proceso de acumulación de capital, ya que cuando se trata de nuevos medios de producción, la tecnología dinamiza directamente el desarrollo material y es palanca del crecimiento económico; mientras que cuando se trata de productos de consumo final, la tecnología beneficia las condiciones de vida del consumidor, pero no es palanca del crecimiento económico.

La clasificación no es sencilla ya que el mismo producto puede ser utilizado como medio de producción o de consumo. Un automóvil es un medio de producción cuando es utilizado por una empresa para desplazar a trabajadores, pero es un medio de consumo cuando se emplea de forma personal por el ciudadano. La harina es consumida como medio de producción por panaderías y otras industrias alimenticias, pero también puede ser comprada para uso doméstico en la casa de cualquier persona como medio de consumo. Sin embargo, algunos de los grupos de productos son claramente medios de producción, como ocurre con la materia prima, con los materiales intermedios, con los instrumentos y herramientas, y, también en el caso de los productos finales catalogados como productos de la industria de la construcción, o del sistema de transporte.¹⁰

Resultados y discusión

Fueron identificadas 139 empresas. Existe una fuerte concentración espacial en la Ciudad de México y estados vecinos, y en el norteño estado de Nuevo León. Para determinar la localización espacial de la empresa se utilizó la dirección de sus oficinas centrales (casa matriz). En algunos casos es posible ubicar el centro de producción en una dirección distinta a la de la casa matriz pero, en la generalidad, el domicilio principal coincide con el de producción. El mapa 1 muestra la distribución geográfica.

Entre el Distrito Federal con 66 empresas y Nuevo León con 30, se alcanza el 69 por ciento del total. El mapa indica, además, la presencia de empresas de nanotecnología en toda la franja fronteriza con Estados Unidos, y en el centro occidente del país. En la franja fronteriza de ubican varias empresas maquiladoras, y en el estado de Jalisco el núcleo fuerte de investigación y producción de electrónicos. Es probable que en estos estados prevalezca la orientación de las nanotecnologías hacia la industria electrónica

¹⁰En este sector, los automóviles son claramente una excepción, ya que son mayoritariamente productos de consumo personal (con la excepción de camiones y otros vehículos de trabajo).

Mapa 1
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS EMPRESAS DE NANOTECNOLOGÍA
EN MÉXICO



Fuente: Elaboración propia.

y con destino a la exportación. Los otros estados con mayor desarrollo industrial, Nuevo León y Estado de México, concentran, junto con la Ciudad de México y Jalisco, el 82 por ciento de las empresas de nanotecnología en México, así como las principales universidades y centros de investigación. En contraste, los estados no sombreados que incluye a los más pobres, no ubicamos empresa con proceso de manufactura con nanotecnología. Para el caso de Yucatán y Quintana Roo, los únicos estados del sur que aparecen sombreados, sólo encontramos una empresa, respectivamente, lo que quiere decir que prácticamente el grueso de la actividad productiva con las nanotecnologías se encuentra en el centro-norte del país. Esto sugiere que las nuevas tecnologías tienden a profundizar la brecha preexistente entre zonas más y menos desarrolladas.

No todas las 139 empresas tienen producción doméstica. En muchos casos resulta difícil determinar si el producto con nanotecnología que comercializan fue producido en territorio nacional o importado. En algunos casos la distinción es explícita. El cuadro 2 muestra esta diferencia.

Cuadro 2
DISTRIBUCIÓN DE EMPRESAS NT EN MÉXICO

| <i>Empresas</i> | <i>Cantidad</i> | <i>%</i> |
|--|-----------------|---------------|
| <i>Manufactura</i> | | |
| Nacional | 74 | 53.24 |
| Importada | 44 | 31.65 |
| Sin información indicativa de lugar de producción | 21 | 15.11 |
| <i>Total</i> | <i>139</i> | <i>100.00</i> |

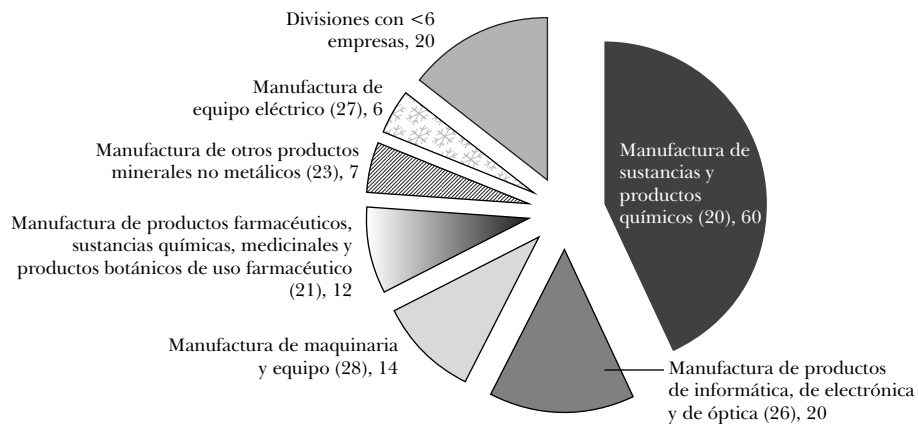
Fuente: Elaboración propia.

En algo más del 50 por ciento de los casos (74 empresas) se pudo establecer su producción nacional, y en 32 por ciento se trataba de producción importada y comercializada en el país.

Las empresas manufactureras, que suman 139, pueden ser agrupadas de acuerdo al producto con nanotecnología y su clasificación según la metodología CIUU de Naciones Unidas. La distribución económica resultante, por divisiones en la terminología de CIUU, abarca seis divisiones manufactureras. Debe enfatizarse que, como la clasificación se realizó a partir del producto con nanotecnología en el mercado, la clasificación económica no necesariamente refleja la de la empresa. De esta forma, una empresa que tiene varias líneas de producción fue clasificada exclusivamente según el producto con nanotecnología. La CIUU subdivide a la sección manufactura en 24 divisiones. En el caso de México, los productos con nanotecnología sólo representan 6 divisiones. La gráfica 1 permite visualizar la participación de cada una de estas divisiones manufactureras.

La gráfica 1 muestra el código CIUU (dos dígitos) entre paréntesis para cada división manufacturera, seguido de la cantidad de empresas representadas. Salta a la vista que la manufactura de sustancias y productos químicos es mayoritaria, triplicando a la siguiente que es la manufactura de productos de informática, electrónica y óptica. Le sigue la manufactura de maquinaria y equipo, y a poca distancia la manufactura de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico. Entre estas cuatro divisiones se cubre más del 75 por ciento de toda la industria manufacturera nanotecnológica de México. La distribución de los productos, según estas divisiones manufactureras, indica una inclinación hacia la ciencia básica, fuertemente representada en los productos químicos, pero también en la manufactura de productos de informática, electrónicos y ópticos.

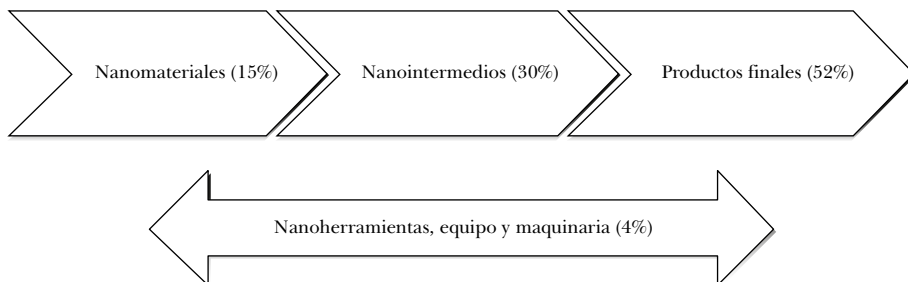
Gráfica 1
 EMPRESAS MANUFACTURERAS DE NANOTECNOLOGÍA EN MÉXICO
 SEGÚN DIVISIÓN CIIU



Fuente: Elaboración propia.

La ubicación de los productos nanotecnológicos en la cadena de valor de las nanotecnologías refleja la ubicación de las empresas, dado el punto de partida de que sólo un producto está representado por cada empresa. La visión de conjunto de la distribución de las empresas en la cadena de valor se presenta en la figura 1.

Figura 1
 DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS EMPRESAS EN LA CADENA
 DE VALOR DE LAS NANOTECNOLOGÍAS



Fuente: Elaboración propia.

El escaso porcentaje representado en la primera etapa de los nanomateriales muestra la dependencia de México respecto del suministro externo de la materia prima; al igual que sucede con las herramientas y equipo de medición, manipulación y caracterización de los nanomateriales y nanoestructuras. La gráfica muestra, por otra parte, que la mitad de los productos en el mercado son mercancías finales que incorporan de una u otra forma las “virtudes” que suponen incorporar materiales y estructuras nanométricas.

Un mayor detalle de esta cadena de valor está plasmado en el cuadro 3. Allí la materia prima se desagrega en cinco grupos, los nano intermedios en cuatro, y los productos finales en cinco grupos.

Esta subdivisión en la cadena no marca una clara inclinación hacia un determinado tipo de nanomaterial o de productos intermedios, y habrá que esperar el aumento de la producción con nanotecnología para poder determinar el grado de especialización.

En la primera etapa de la cadena de valor, correspondiente a los nanomateriales y nanoestructuras, se localizaron 21 empresas. Las que fabrican con nanomateriales metálicos constituyen el primer grupo con nueve casos. Le siguen estructuras poliméricas con siete; el resto con tres y menos. Destacan, en esta primera etapa, empresas como Praxair, TCM watches, Tenaris Tamsa y Dupont. Los principales nanomateriales identificados son dióxido de titanio, plata, oro, hidróxido de magnesio y nanotubos de carbono.

La etapa de nanointermedios está conformada por 41 empresas. Tres tipos de productos se encuentran mayormente en esta etapa: circuitos, compuestos y recubrimientos. Comex, por ejemplo, fabrica una pintura antivegetativa y “autopulible” (Comex, 2015). La empresa Empower Circle México (Trunano) importa un recubrimiento que brinda protección contra manchas, vandalismo, abrasión y desgaste, el cual denominan “Grafiti Armor” (Empowercircle, 2015). Algo más de la mitad de las empresas que producen nano-intermedios manufactura en el extranjero y vende en México. Tal es el caso de Recubritec, Nanodepot, Protec, Altana, Vinssa, Leyvitec, Flextronics, Kodak, Toshiba, Fei y Circuit Check.

Hay 72 productos localizados en la etapa final de la cadena de valor. La mayoría están en los segmentos de construcción e industria, seguidos de productos de cuidado personal, alimentos y agrícolas, y vestimenta, deportes y del hogar. En el segmento de construcción e industria encontramos varias empresas importantes. Cemex, una multinacional mexicana, y de las mayores del mundo en producir productos para la industria de la construcción, tiene su matriz en Monterrey, produce y comercializa un concreto llamado *Fortium ICF* que permite economizar en costos de mantenimiento y de energía

Cuadro 3
EMPRESAS NANOTECNOLÓGICAS SEGÚN SU UBICACIÓN EN LA CADENA DE VALOR

| <i>Nano materia prima según base</i> | <i>Número</i> | <i>Nano intermediarios</i> | <i>Número</i> | <i>Productos finales</i> | <i>Número</i> | <i>Herramientas y equipo</i> | <i>Número</i> | <i>Total de empresas</i> |
|--------------------------------------|----------------|----------------------------|----------------|------------------------------|----------------|------------------------------|---------------|--------------------------|
| Carbón | 3 | Circuitos | 14 | Vestimenta, deportes y hogar | 17 | Equipo de análisis | 5 | |
| Inorgánica | 1 | Recubrimientos | 11 | Cuidado personal y alimentos | 17 | | | |
| Metálica | 9 | Compuestos | 15 | Construcción e industria | 21 | | | |
| Polímeros | 7 | Componentes electrónicos | 1 | Salud | 9 | | | |
| Semimetálicos | 1 | | | Transporte | 8 | | | |
| Total | 21 (15.11%) | | 41 (29.50%) | | 72 (51.80%) | | 5 (3.60%) | 139 (100%) |

Fuente: Elaboración propia.

(Cemex, 2015). Vitromex, localizada en Saltillo, Coahuila, manufactura varios productos nanotecnológicos, pero sobresale una línea de pisos de cerámica anti-bacteriales con nanopartículas de plata y estabilizadas con zirconio (Vitromex, 2015). Global Proventus, con matriz en Monterrey, es una empresa que fabrica nanomembranas especializadas para filtración de agua para uso residencial, comercial e industrial (Globalproventus, 2015). En el segmento de cuidado personal, alimentos y productos agrícolas, encontramos empresas mexicanas como Sigma, Xignus, Gresmex y Nanonutrition, y también empresas con matriz en el extranjero como Avon, Sanki, Vitamist (representante de Mayor Labs), Kellogs y otras más. Sigma, por ejemplo, utiliza envases funcionales de menor peso y nanopelículas para el envasado de productos que se deterioran al contacto con el oxígeno (Clusternano, 2010). La empresa Avon, con matriz en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos, manufactura cosméticos con diferentes tipos de nanopartículas (Avon, 2011). Vitamist, representante en México de la empresa estadounidense Mayor Labs, ofrece vitamínicos en nanoespray, con el objetivo de aumentar la absorción una vez que son aplicados en las paredes bucales (Vitamist, 2015).

Es posible que varias de las empresas que manufacturan con nanotecnología en México también realicen I+D. Esta información no pudo ser captada; sin embargo hemos registrado 21 empresas que sin lanzar productos al mercado están realizando I+D en nanotecnología, a juzgar por patentes registradas o proyectos de investigación financiados. Como se trata de información parcial, no la hemos incluido en la cadena de valor. Pero algunos ejemplos son ilustrativos de los lugares y temas de investigación.

El estado de Nuevo León concentra nueve empresas de las 21 que realizan I+D. Frisa Forjados, por ejemplo, es una empresa que realiza investigación sobre nanomateriales y aplicaciones en el Clúster de Nanotecnología de Nuevo León (Bárcenas, 2010). La empresa Copamex realiza investigación con la encomienda de desarrollar nanomateriales ignífugos para aplicarse a cartón o papel (González-Hernández, 2011b). Fuera de Nuevo León está Cementos Chihuahua, ubicada en la ciudad, la cual participó en una investigación sobre las características físicas de cemento habilitado con nanomateriales (óxido de silicio) (Cervantes y Calderón, 2013). Hay otras empresas en I+D localizadas en otras entidades federativas, como Mezfer, Resymat, Celanese y Casematic, las cuales cuentan con patentes en nanotecnología.

Una vez distribuidas las empresas en la cadena de valor, resulta ilustrativo analizar en qué medida el producto final es un nuevo medio de

producción de sucesivos procesos industriales o va dirigido al ciudadano consumidor final. Distinguimos así los medios de producción de los medios de consumo. Esta distinción no es exacta cuando se trabajan agregados, como es el caso y como fue señalado anteriormente. La harina puede ser consumida como producto final, pero la mayoría se destina a medio de producción de la industria del pan y las galletas. Por lo regular, al trabajar con datos agregados se subestiman los medios de producción, ya que por razón de la acumulación ampliada de capital, el grueso de la producción vuelve a formar parte de nuevos procesos productivos. Existen, no obstante, excepciones contrarias, como es el caso de la industria automovilística con el carro de uso personal. Pero esta información, aunque aproximada, es de importancia para identificar el papel de las nanotecnologías en el proceso de acumulación de capital.

El cuadro 4 agrupa las empresas según sus productos sean medios de producción o medios de consumo.

Cuadro 4
EMPRESAS SEGÚN PRODUCCIÓN DE MEDIOS DE PRODUCCIÓN
O DE MEDIOS DE CONSUMO

| <i>Producen medios de producción</i> | <i>Cantidad</i> |
|--|-----------------|
| Nanomateriales | 21 |
| Nanointermedios | 41 |
| Productos finales (construcción e industria; transporte) | ≈ 29 |
| Herramientas y equipo | 5 |
| Subtotal | 96 (69%) |
| Producen medios de consumo | |
| Productos finales (vestimenta, deportes y hogar; cuidado personal y alimentos; y, salud) | ≈ 43 |
| Subtotal | 43 (31%) |
| Total | 139 |

Fuente: Elaboración propia.

Grosso modo 96 empresas producen medios de producción, lo cual constituye casi el 70 por ciento del total, y 43 empresas producen medios de consumo (aproximadamente 70 por ciento del total).

Empresas que producen medios de producción son, por ejemplo, Viakable, encargada de manufacturar cables industriales con recubrimiento nano; Polímeros nacionales, empresa que produce nanomateriales para la industria; Sony, compañía que manufactura oleds para pantallas; o, Kaltex, entre cuyos

productos destaca una nanofibra bactericida que evita los malos olores. Empresas que producen medios de consumo son, por ejemplo, 3M, que comercializa productos dentales y de uso médico; Whirlpool y Mabe, quienes manufacturan y comercializan algunos productos de línea blanca que contienen nanomateriales; Ten Pac, que fabrica calzado industrial.

Conclusiones

México investiga en nanotecnologías desde los años noventa. Durante la primera década del siglo XXI fondos públicos fueron destinados a laboratorios especializados, al establecimiento de parques industriales y a la creación de redes de investigación. No obstante, no existe un programa o institución pública que establezca lineamientos para su desarrollo y concentre la información, de manera que se obtienen datos dispersos, y tampoco se conoce el monto de inversión destinado a estas tecnologías. La investigación que se llevó a cabo para recabar información sobre empresas que producen y comercializan productos de las nanotecnologías en México es un esfuerzo para cubrir parte de tales lagunas.

La investigación abarcó cuatro etapas sucesivas. En la primera se realizó un inventario de empresas nanotecnológicas en México, identificando 139. En la segunda parte se clasificaron los productos con nanotecnología según la International Standard Industrial Classification of All Economic Activities de la Organización de las Naciones Unidas, lo cual permitió mostrar que el 40 por ciento de los productos corresponden a la manufactura de sustancias y productos químicos; seguido de un 14 por ciento por la manufactura de productos de informática, electrónica y óptica. En la tercera etapa se localizaron las empresas según una cadena de valor simple de las nanotecnologías, que distingue la materia prima (nano materiales y materiales intermedios) de los productos finales y de los instrumentos y equipo, mostrando que aproximadamente la mitad de los productos de las nanotecnologías en el mercado son productos finales, y otro tanto nanomateriales, materiales intermedios e instrumentos. La cuarta y última etapa consistió en clasificar los productos según si se volcaban prioritariamente a nuevos procesos productivos (consumo productivo) o para el consumo personal. El resultado mostró que cerca del 80 por ciento de los productos tienen como fin el consumo productivo.

Fuentes consultadas

- Avon (2011). *Nanotechnology, Corporate Responsibility*. Recuperado en marzo de 2015 http://www.avoncompany.com/corporatecitizenship/corporate-responsibility/resourcecenter/policies_and_procedures/pdf/2011-nanotechnology.pdf
- Azonano.com (2014). *Nanotechnology Market Report*. Massachusetts, EUA. Recuperado en febrero de 2015 <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3133>
- BÁRCENAS, E. (2010). *Nanometrópolis. Revista poder y negocios*. S.N. Recuperado en marzo de 2015 <http://www.especialistas.com.mx/saiweb/viewer.aspx?file=c8u0JHHolyPzScjDD09MU1WEbNi/SO333Q@@6k2Yd4rfHIooUzh3TxU79WuC4HcAF3&opcion=0&encrip=1>
- Cemex (2015). *Buiding the cities of the future report*. Recuperado en marzo de 2015, <http://www.cemex.com/InvestorCenter/files/2012/Cemex-Sdr2012.pdf>
- CERVANTES, M. J., Calderon, F., Terrazas, A., Margulis, J., Nava, J., San Miguel, G., Sanchez, J., Durstewitz, C. & Villafañe, A. (2013). Corrosion Resistance, Porosity and Strength of Blended Portland Cement Mortar Containing Rice Husk Ash And NanoSiO₂. *Int. J. Electrochem. Sci*, 8, 10697-10710.
- CIMAV (Centro de Investigación de Materiales Avanzados) (2015). *Laboratorio Nacional de Nanotecnología*. Recuperado en febrero de 2015 <http://ntch.cimav.edu.mx/>
- Clusternano (2010). *Empresas en el cluster*. Recuperado en enero de 2010 <http://www.clusternano.org/nanomonterrey2010/>
- Comex (2015). *Catálogo de productos. Marine Coating AF 53*. Recuperado en marzo de 2015 <http://www.comex.com.mx/CATALOGUE/Product/Marine-Coatings-AF-53.aspx>
- Conacyt (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) (2014). *Resultados Registro y Reestructuración de Redes Temáticas*. Recuperado en marzo de 2015 <http://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/convocatorias-y-resultados-conacyt/convocatorias-redes-tematicas-de-investigacion/resultados-redes-tematicas-de-investigacion>
- Empowercircle (2015). *Productos industriales, en construcción*. Recuperado en marzo de 2015 <http://www.empowercircle.com/es/industrial/>
- EAN (Fundación Argentina de Nanotecnología) (2012). *Quién es quién en nanotecnología*. Buenos Aires: Fundación Argentina de Nanotecnología.
- FOLADORI, G. & Invernizzi, N. (2013). Inequality gaps in nanotechnology development in Latin America. *Journal of Arts and Humanities*, 2(3), 36-45.

- FREDERICK, S. (2014). *The Nanotechnology Value Chain Model & Template*. Unpublished manuscript, Duke University, Center on Globalization, Governance and Competitiveness.
- Globalproventus (2015). *Membranas para filtración*. Recuperado en marzo de 2015 <http://www.global-proventus.com/productos/membranas/membranas/>
- GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, J. (2011a). El clúster de nanotecnología de Nuevo León: estrategia y operación. *Mundo Nano*, 4(1), 18-23.
- _____. (2011b). *Vinculación del CIMAV con las Empresas del Clúster de Nanotecnología de Nuevo León*. [Presentación en PPT]. Recuperado en marzo de 2015 <http://nanored.org.mx/documentos/Queretaro-2011%5CMESA%201%20-%20Dr.%20Jesus%20Gonzalez.pptx>
- IC (Industry Canada) (2015). Nanotechnology Company Directory. Recuperado en febrero de 2015 https://www.ic.gc.ca/eic/site/aimb-dgami.nsf/eng/h_00003.html
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2014). *Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico y Módulo sobre Actividades de Biotecnología y Nanotecnología 2012*. Síntesis metodológica ESIDET-MBN.
- Linan (Laboratorio Nacional de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología) (2015). *Linan*. Recuperado en febrero de 2015 <http://www.ipicyt.edu.mx/Linan/linan.php>
- Lux Research. (2004, September 30). Sizing nanotechnology's value chain. Recuperado de https://portal.luxresearchinc.com/research/report_excerpt/2650
- Lux Research (2014). *Nanotechnology Update: Corporations Up Their Spending as Revenues for Nano-enabled Products Increase*. Recuperado en marzo de 2015 https://portal.luxresearchinc.com/research/report_excerpt/16215
- MFIYE (Ministerio Federal de Investigación y Educación) (2015). *Competency Map Nanotechnology in Germany*. Recuperado en febrero de 2015 <http://www.nano-map.de/>
- NanoAlberta (2015). *Alberta Nanotechnology Asset Map, 2012*. Recuperado en marzo de 2015 <http://www.albertatechfutures.ca/nanoAlberta/Alberta-NanoAssetMap.aspx>
- Nanodatabase (2015). *Registry of products containing nanomaterials*. Recuperado en marzo de 2015 <http://nanodb.dk/en/>
- NANOFAB (Laboratorio Nacional de Nanofabricación) (2015). *Nanofab, generalidades*. Recuperado en febrero de 2015 <http://www.cnyn.unam.mx/~nanofab/>
- Nanotex (2015). *About us*. Recuperado en marzo de 2015 <http://www.nano-tex.com/company/aboutus.html>

- Nanowerk.org (2015). *Nanotechnology Commercial Directory*. Recuperado en marzo de 2015 http://www.nanowerk.com/nanotechnology/research/nanotechnology_links.php
- OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) (s/f). *Directorate for Science, Technology and Innovation Key Nanotechnology Indicators*. Recuperado en diciembre de 2014 <http://www.oecd.org/sti/nanotechnology-indicators.htm>
- ONU (Organización de las Naciones Unidas) (2006). *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIIU)-Revisión 4*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Estadística. Recuperado en septiembre de 2014 <http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regdntransfer.asp?f=197>
- RN^{YN} (Red de Nanociencias y Nanotecnología) (s/f). *Objetivos*. Recuperado en enero de 2015 <http://www.nanored.org.mx/objetivos.aspx>
- United Nations. (2008). *International Standard industrial classification of all economic activities (ISIC) (Rev. 4)*. New York: United Nations. Recuperado de http://unstats.un.org/unsd/publication/seriesM/seriesm_4rev4e.pdf
- Vitamist (2015). *Línea de productos*. Recuperado en marzo de 2015 <http://www.vitamistmexico.com/>
- Vitromex (2015). *Vitromex antibacterial*. Recuperado en marzo de 2015 <http://www.vitromex.com.mx/assets/templates/ecolife/revistas/antibacterial/ANTIBACTERIAL.pdf>
- WWIC (Woodrow Wilson International Center for Scholars). Project on Emerging Nanotechnologies. *Inventory Finds Increase in Consumer Products Containing Nanoscale Materials*. Recuperado en enero de 2015 <http://www.nanotechproject.org/news/archive/9242/>
- ZÁYAGO LAU, Edgar, Foladori, Guillermo, Appelbaum P. Richard y Arteaga Figueroa, Ramón (2013). Empresas nanotecnológicas en México: hacia un primer inventario. *Revista Estudios Sociales*, 21(42), 9-25.
- Zyvex (2015). *Unlocking the power of nanotechnology*. Recuperado en marzo de 2015 <http://www.zyvex.com/>

Patentes e innovación de nanotecnología en México*

Eduardo Robles Belmont**

Guillermo Foladori***

Edgar Ramón Arteaga Figueroa****

Richard Appelbaum*****

Edgar Záyaogo Lau*****

Rachel Parker*****

Introducción

Este capítulo presenta los resultados de una investigación sobre patentes en nanotecnología en México. Más específicamente, se utilizan las patentes sobre nanotecnología para inferir en qué sectores económicos se realiza Investigación y Desarrollo (I+D), y si la investigación está orientada a ciencia básica o a ciencia aplicada.

Para alcanzar tales objetivos se utilizaron tres metodologías sucesivas. Primero, una metodología para identificar las patentes en nanotecnología con participación mexicana en la invención. Luego se aplicó una metodología con concordancia de términos técnicos a sectores económicos. Por último, se elaboró una metodología para ubicar las patentes en una cadena de valor de las nanotecnologías.

Consideramos que el procedimiento puede ser replicado para otros países sin mayores ajustes.

*Parcialmente financiado por el Proyecto “Nanotechnology in the Mexican industrial policy. A comparative methodological framework” UC MEXUS-Conacyt Collaborative Grant, 2014-2015.

**Instituto de Investigaciones Matemáticas Aplicadas y en Sistemas. Universidad Nacional Autónoma de México.

***Unidad Académica en Estudios del Desarrollo. Universidad Autónoma de Zacatecas.

****Becario Conacyt.

*****Center for Nanotechnology in Society. Universidad de California Santa Barbara.

*****Unidad Académica en Estudios del Desarrollo. Universidad Autónoma de Zacatecas.

*****Mowat Centre, School of Public Policy and Governance. Toronto University.

Uno de los elementos centrales del discurso sobre la promoción y el desarrollo de las nanotecnologías ha sido su potencial económico. Nuevos productos de las nanotecnologías se encuentran en diversos sectores industriales, mostrando un importante crecimiento (Lauterwasser, 2005). La presencia de productos en el mercado es una realidad, como lo muestra la lista de más de 1,800 productos manufacturados con base a nanotecnologías que han sido inventariados por el Project on Emerging Nanotechnologies del Woodrow Wilson International Center for Scholars (wwics, 2015a). El interés de gobiernos en el desarrollo de las nanotecnologías sigue vigente, como se refleja en el financiamiento destinado para el 2016 en la Iniciativa Nacional para la Nanotecnología de Estados Unidos, que será de 1.5 mil millones de dólares, y donde uno de los objetivos centrales es fomentar la transferencia de estas tecnologías a productos para el beneficio comercial y público (National Nanotechnology Initiative, s.f.).

La transferencia de tecnología es elemento clave en el proceso de innovación; y el análisis de las patentes un medio para analizar la trayectoria de los países en este campo (Alencar, Porter y Antunes, 2007). Varios estudios que dan cuenta del estado de desarrollo de estas tecnologías se han publicado, y se constata que los países industrializados concentran la producción y uso de conocimientos nuevos en las nanotecnologías. En el caso de México, diversos estudios se han centrado en caracterizar las capacidades científicas instaladas, las cuales pueden ser base del desarrollo de estas tecnologías (Munoz-Sandoval, 2013; Robles-Belmont y Vinck, 2011; Záyago, Frederick y Foladori, 2014). Sin embargo, el estado de la transferencia de tecnología ha sido poco abordado (Robles-Belmont y De Gortari, 2014; Záyago, Foladori y Arteaga, 2012). Este capítulo pretende llenar esta laguna.

A ya más de 20 años de I+D en nanotecnologías en México hay un par de centenas de patentes registradas en diferentes bases de datos. Estas patentes brindan información técnica sobre el área de investigación y su potencial aplicación. Sin embargo, para efectos de análisis económico esta información técnica es de poca utilidad en forma directa. Existen, no obstante, diversos métodos, llamados métodos de concordancia, para establecer equivalencias razonables entre la información técnica y la sectorización económica. La investigación que dio como resultado este informe utilizó el sistema DG de concordancia, aplicado, entre otros, por la Oficina de Estadística de la Unión Europea (Van Looy, Vereyen y Schmoch, 2014). Además de registrar sectores económicos de I+D en nanotecnología, se estableció un procedimiento para correlacionar las patentes según su uso potencial en una cadena de valor simple de nanotecnologías. Con ello, este documento

ofrece información actualizada a tres niveles. Primero, una búsqueda y presentación de patentes en nanotecnología de invención mexicana. Segundo, una distribución de la I+D que dio lugar a estas patentes, según los sectores económicos. Tercero, una evaluación del lugar potencial de los usos derivados de las patentes en la cadena de valor de las nanotecnologías.

El trabajo se divide en tres apartados. En el primero se realiza una reflexión teórica sobre las patentes, particularmente en lo que tiene que ver con la utilidad para el análisis económico que éstas pueden brindar. En el segundo se reseñan los principales métodos de concordancia entre términos técnicos registrados en las patentes y sectores económicos. En el tercero se explica la metodología utilizada en la investigación, que abarca tres métodos, cada uno apropiado al subtema tratado.

Para alcanzar tales objetivos, se utilizaron tres metodologías sucesivas. Primero, se empleó una metodología para identificar las patentes en nanotecnología con participación mexicana en la invención. Luego, se aplicó una metodología de concordancia de términos técnicos en sectores económicos. Por último, se elaboró una metodología para ubicar las patentes en una cadena de valor de las nanotecnologías. Finalmente, consideramos que el procedimiento puede ser replicado para otros países sin mayores ajustes.

Las patentes en nanotecnología desde una perspectiva económica

Las nanotecnologías son consideradas tecnologías de propósito general (*enabling technologies*), posibles de ser aplicadas a cualquier sector económico (Bresnahan y Trajtenberg, 1995; Shea, Grinde y Elmslie, 2011). Como se trata de tecnologías nuevas o emergentes, las bases de datos para su estudio son reducidas, y tampoco hay registros exhaustivos de empresas que producen con nanotecnologías.¹ Dadas estas limitaciones, las patentes constituyen una de las fuentes de datos clave, que puede brindar información sobre la orientación en el desarrollo de las nanotecnologías y la transferencia del conocimiento a la producción (OECD, s.f.).² La estructura de las bases de da-

¹Algunos países tienen listas parciales sobre las empresas que trabajan con nanotecnología, como Alemania (BBF, s.f.); Canadá (Government of Canada, 2002); Argentina (EAN, 2012); algunos estados o provincias también tienen listas, como Ontario, Quebec y Alberta en Canadá (AITEF, 2010); California y Massachusetts en los Estados Unidos (Azonano.com, s.f.; Frederick, s.f.); también hay listas de productos en el mercado (TAENK, s.f.; WWICS, 2015b).

²Los indicadores basados en patentes son un instrumento único —a veces el único instrumento— para rastrear el crecimiento de las tecnologías emergentes (*e.g.* nanotecnología, biotecnología). Los datos de patentes pueden ser usados en conjunto con datos sobre publicaciones científicas.

tos de patentes permite obtener datos sistemáticos de éstas, y el desarrollo de una estrategia de búsqueda adecuada puede arrojar datos que reflejen el campo tecnológico que se estudia.

Las patentes no son, sin embargo, indicadores económicos directos; son registros jurídicos orientados a defender legalmente los intereses de sus poseedores. Indirecta y secundariamente las patentes son usadas para otros fines. Así, por ejemplo, la información que una patente registra puede servir para apoyar otras innovaciones y desarrollos tecnológicos; también las patentes son usadas como indicadores aproximados de innovación tecnológica, de transferencia de tecnología, de desarrollo sectorial y de competitividad. De hecho, todo el paradigma de la economía del conocimiento sugiere que la innovación productiva es la clave del desarrollo y, por ello, las patentes se han convertido en un indicador destacado; pero los usos que las patentes posibilitan fuera del ámbito legal requieren de mediaciones para ser utilizados.

Una patente es un derecho de monopolio temporal y espacial sobre un proceso o producto, que otorga el Estado a un inventor para que explote su invención. La patente sólo se puede registrar si ofrece conocimiento novedoso que pueda ser aplicado de manera industrial. Al registrar una patente se está ofreciendo la información necesaria para que cualquiera pueda aplicarla, una vez negociado su uso. Se supone que la patente es un premio que incentiva al inventor y, eventualmente, compensa gastos de I+D que de otra forma no se realizarían.

Desde ese punto de vista, la patente es un instrumento legal que apoya el desarrollo. Esto es controversial, ya que no está claro que los beneficios sociales sean mayores con la existencia de patentes que sin este procedimiento legal, aunque sean mayores los beneficios para los poseedores de las patentes.³ El ejemplo de las nanotecnologías es elocuente. Las nanotecnologías surgen en un momento histórico de expansión de la globalización económica y la concentración del capital, ocurrido desde la década de los noventa; como consecuencia, existe una fuerte concentración de las patentes en nanotecnología en pocas corporaciones transnacionales, lo cual levanta la duda de si la patente sirve a la equidad económica y a la innovación

³Cuando, por ejemplo, se otorgan patentes generales, éstas pueden entorpecer el proceso de innovación, como reconocían los mismos empresarios a mediados de la primera década de este siglo cuando hubo un *boom* del patentamiento en nanotecnología sin mayores precauciones. "In 2002 the US-based industry trade group Nanotechnology Business Alliance was already warning in testimony before the US Congress "several early nanotech patents are given such broad coverage, the industry is potentially in real danger of experiencing unnecessary legal slowdowns" (Bawa, Bawa y Maebious, 2005; Regalado, 2004).

de pequeñas y medianas empresas. En Estados Unidos, y hasta el 2008, sólo dos instituciones concentraban más de 100 patentes: IBM y University of California (Chen *et al.*, 2008).

Aun considerando que la patente favorece la innovación, no es un indicador directo de innovación y, en el mejor de los casos, es un indicador complementario. Por diferentes motivos es imposible saber la cantidad de invenciones e innovaciones que no se patentan —entre ellas por los costos de patentar y mantener la vigencia de las patentes, o porque el secreto comercial es más conveniente u otras razones.⁴ Hay estudios que muestran que mientras en algunas ramas económicas como la química, farmacéutica, productos minerales o equipo médico el porcentaje de innovaciones patentadas es alto, en otras ramas como textiles, vidrio, acero, máquinas herramienta, o componentes electrónicos la tendencia a patentar es menor, y ello no asegura que haya mayor innovación en las primeras ramas que en las segundas (Cohen, Nelson y Walsh, 2000).

Además de haber innovaciones que no se patentan, las invenciones patentadas no son garantía de innovación. Existe un debate sobre patentes de *software* consideradas “triviales”, por su obviedad.⁵ Otras patentes, aunque teóricamente útiles, nunca se comercializan por diversas razones técnicas y de mercado. Es difícil conocer la relación entre cantidad de patentes y patentes comercializadas, ya que la comercialización es un contrato privado que no se divulga; además de que el propio inventor puede usar su patente productivamente sin necesidad de comercializarla.^{6, 7}

Pero, aún en el caso de patentes comercializadas, no es sencillo establecer la relación de la patente con el valor generado. En términos corrientes se supone que una patente es una innovación, y que la innovación potencia

⁴El documento de la OCDE sobre patentes revisa varias encuestas y muestra cómo el porcentaje de invenciones patentadas es muy desigual por sectores económicos (a veces de 25 al 75 por ciento) (OCDE, 2010). Un porcentaje de 50 por ciento de invenciones patentadas podría ser considerado alto.

⁵Véase http://en.wikipedia.org/wiki/Software_patent_debate

⁶Las transacciones de mercado basadas en patentes sólo corresponden a una pequeña parte de todo el comercio de conocimiento. Ellas incluyen dos clases principales de activos relacionados a patentes y tecnologías: el propio título de la patente y el derecho a usar patentes (licencias de varios tipos). No hay sistema estadístico que ofrezca una estimación estable y comprehensiva de las transacciones que incorporan tal tipo de activos. De hecho muchas de ellas son privadas y realizadas de manera personal en lugar de la bolsa” (Guellec y Meniere, 2014: 16).

⁷“Sabemos muy poco respecto de si la patente es usada o no, si es licenciada, o si es desarrollada en un nuevo producto por su aplicante” (Giuri, Mariani, Brusomi, Crespi *et al.*, 2007: 1108). Según la encuesta de PatVal en Europa 36 por ciento de las patentes no se usan, sea que se retienen para bloquear competidores (18.7 por ciento), o están “durmiendo” (17.4 por ciento) (Giuri *et al.*, 2007: 1118).

la competitividad y el desarrollo. Sin embargo, una patente refleja una innovación de procedimiento o material, pero nada dice sobre el valor que dicha patente puede generar o apropiarse; y lo que interesa al desarrollo desde el punto de vista económico no es la transformación material sino la generación de valor que produce. Una patente puede, inclusive, desatar negocios millonarios sin generar valor alguno, como cuando se lleva a juicio a una empresa por infringir una patente y se desatan costos jurídicos por el juicio; costos que no generan ningún nuevo valor ni resulta en innovación alguna, pero que puede significar la ruina de algunas empresas, como ocurrió en el caso de empresas de nanotecnología. Christiansen, Maebius, Radomsky y Rutt (2009) escriben sobre la empresa de nanotecnología Evident Technologies Inc., que se fue a la quiebra como resultado de tener que pagar a sus abogados un millón de dólares por litigio de patente, lo que representaba más de un cuarto del total de sus bienes de capital; también sobre Luna Innovations Inc, otra empresa de nanotecnología que se fue a la quiebra luego de que el jurado le imputó 36 millones de dólares de pago por infracción de secretos comerciales, lo que representaba casi el doble de los 20 millones de dólares que la empresa tenía en bienes de capital. Difícilmente puede argumentarse que todo este capital que se moviliza en la esfera financiera y alrededor de transacciones de títulos de propiedad, tiene algún tipo de contrapartida en la innovación.

El crecimiento espectacular de las patentes en nanotecnología durante la primera década del siglo creó un caos en los sistemas de patentes. En Estados Unidos, por ejemplo, la solicitud de una patente en nanotecnología podía durar años en otorgarse, cuando el plazo normal es de 18 meses, con los consecuentes altos costos legales (Washburn, 2009). Otro resultado fueron las patentes encadenadas, que generan una maraña de patentes interconectadas y con pleitos legales por superposición, y una gran presión de los dueños de patentes por controlar que no se violen. Se le llama cuello de botella cuando el propietario de una patente infringe otra patente al aplicar la suya, y ambas partes deben de llegar a acuerdos para poder comercializar un producto (Bednarek e Ineichen, 2005). También ésta es una causa de la concentración de patentes, surgiendo los paquetes de patentes relacionadas (*patent pool*) que sólo las grandes corporaciones pueden comprar.⁸

⁸“The acquisitions of Nortel’s portfolio of 6,000 patents by a consortium led by Apple and Microsoft, and of Motorola Mobility’s 17,000 patents by Google (as part of a corporate acquisition) in summer 2012, are striking illustrations of this evolution” (Guellec y Meniere, 2014: 11).

Un estudio concluye que casos de litigio iniciados por entidades no-practicantes entre 1997 y 2000 han llevado a una disminución de cerca de 320 mil millones de dólares del mercado de valores de Estados Unidos de las compañías demandadas (Bessen, Ford y Meurer, 2011; Madiès, Guellec y Prager, 2014: 14 citando a Bessen *et al.*).⁹

Hay tres formas básicas en que la patente puede convertirse en dinero. La primera es la venta de la patente misma con sus derechos. La segunda es el licenciamiento, lo cual tiene diferentes variantes, siendo la más común el licenciamiento por un determinado tiempo y acotado a un espacio geográfico, pero que puede incluir muchas modalidades y restricciones. La tercera forma es cuando un paquete de patentes se utiliza como garantía para obtener un préstamo. Entre estas formas existe una variedad de mecanismos híbridos:

A lo largo de la última década, el mercado de las patentes ha florecido. Intermediarios de patentes, corredores de bolsa y otros agentes han desarrollado un fondo líquido y derechos de patentes, incluyendo derechos de licencia, pactos de no demanda y otros híbridos. Estos productos son negociados, vendidos, comprados, cambiados, intercambiados, consorciados, arrendados y dispuestos a cualquier otra acción, bien o propiedad (McClure, 2014).

Tampoco el hecho de que una patente se comercialice significa que vaya a ser empleada productivamente ya que, a pesar de las leyes que lo prohíben,¹⁰ muchas corporaciones compran patentes con el solo propósito de evitar la competencia (Cohen, Nelson y Walsh, 2000). El resultado es que mucho conocimiento cristalizado en patentes nunca llega a transformarse en productos, con lo cual ese conocimiento no es indicador de innovación ni desarrollo. Según una investigación realizada sobre las patentes de la Unión Europea:

A survey carried out in Europe concludes for instance that about one-third of European patents granted are not exploited, either because they are used

⁹Entidades no practicantes (NPE, por sus siglas en inglés) son firmas que no producen bienes, pero adquieren patentes con el propósito de licenciarlas a otros. La estimativa de Bessen *et al.*, ha sido criticada por otros autores (por ejemplo Katznelson, 2013); pero el hecho es que Federal Trade Commission comenzó a investigar el caso a finales de 2013 por el carácter financiero no productivo de estas entidades llamadas también PAE (Patent Assertion Entities). Disponible en <http://www.ftc.gov/news-events/press-releases/2013/09/ftc-seeks-examine-patent-assertion-entities-their-impact>

¹⁰Por ejemplo, leyes contra monopolio de la Comisión Europea Número 772/2004.

as weapons to block competitors, or because the underlying technology is not exploitable in the market (Gambardella, Giuri y Luzzi, 2007: 34 citado por Caillaud y Ménière).

Los ejemplos anteriores son ilustrativos de la inexistencia de una correlación directa o mecánica entre patente e innovación, o patente y competitividad o patente y desarrollo. Pero, considerando sus limitaciones e intermediaciones las patentes pueden utilizarse como indicadores económicos.¹¹ Una patente que sea ampliamente citada por otras patentes de varios campos tecnológicos diferentes es indicativa, por ejemplo, de que la invención que sugiere es de propósito general; este ha sido un criterio para identificar las llamadas tecnologías de propósito general, dentro de las cuales las nanotecnologías son uno de los ejemplos de mayor actualidad.

Utilización de las patentes para el análisis económico mediante concordancia de códigos

Las patentes se relacionan con el sistema económico de muchas formas. En términos generales hay cuatro grandes campos inmediatos de relación. El primero es el sector de origen de la patente. Esto nos permite distinguir si la patente se originó en un laboratorio químico, en un ámbito de ingeniería u otro sector. El segundo es el sector que convierte la patente en un producto o proceso aplicable; si, por ejemplo, la patente sirve para un dispositivo micro o nano electrónico comandado por radio, es el sector electromecánico el que se va a beneficiar una vez que aplique dicha patente y genere un Mems/Nems adecuado. El tercero es el sector que aplica el proceso o producto. Si el Mems/Nems en cuestión es utilizado por el sector aeronáutico, ahí tenemos otra relación directa de la patente con la economía, pero ahora, con el usuario final. Otro ejemplo puede ser un plaguicida. Éste es inventado en un laboratorio químico; luego es elaborada una máquina para que pueda ser aplicado; y, por último es empleado en la agricultura. La patente en cuestión atraviesa en su impacto tres sectores diferentes de manera directa: químico, metal mecánico y agrícola. Según el interés del investigador la patente será analizada de forma diferente. Si el interés es ver cómo la I+D impulsa la innovación, estamos en el primer paso. Si el interés es cómo la

¹¹“Griliches’ observation of almost two decades ago still seems to hold: “In spite of all the difficulties, patent statistics remain a unique resource for the analysis of the process of technical change. Nothing else even comes close in the quantity of available data, accessibility, and the potential industrial, organizational and technological detail” (Griliches, 1990 citado por Van Looy, Plessis, Magerman, European Commission y Eurostat, 2006).

innovación impulsa determinadas industrias, estamos en el segundo paso. Si el interés es cómo la innovación se manifiesta en el desarrollo o el aumento de productividad en determinado sector económico, estamos en el tercer paso. Y, claro está, hay muchas otros pasos posibles y combinados. Además, la patente puede ser analizada según el inventor y quien la registra, de manera que se distingan empresas privadas, gubernamentales, institutos de investigación y otros, así como la ubicación geográfica de registro y de cobertura.

Cada patente individual puede ser utilizada con fines de análisis económico, porque brinda información sobre el área en que se puede aplicar, el sector donde fue generada y otro tipo de información. Pero este procedimiento individual no sirve a los efectos de trabajar gran cantidad de patentes. Para ello hay que utilizar las bases de datos de patentes, lo que requiere cierta *expertise* para la identificación, obtención, manipulación e interpretación de datos.

La International Patent Classification (IPO), en funcionamiento desde 1971, es una de estas fuentes de base de datos de patentes, y más de 100 países la usan, pero hay otras. A cada patente se le da un código, o varios según la institución de registro, que corresponde con el campo técnico de la innovación.¹² Pero la aplicación de la patente a campos técnicos no obedece a intereses económicos, sino legales. Se clasifica una patente en uno o más campos para mostrar que allí existe una patente de tal tipo y poder defenderla de quien la infringe. Es imperiosa una detallada clasificación de las patentes, ya que de otra forma sería imposible identificar si una nueva solicitud no reivindica un conocimiento que ya está patentado, dada su gran cantidad.¹³ De manera que, tanto para la defensa de la patente, como para el otorgamiento de nuevas, se elaboran sistemas de clasificación. Esto significa que los campos de registro de una patente no reflejan necesariamente un sector económico o industria específica. Un aerosol se puede clasificar como tal independientemente de si es para uso médico, para pintura, para fumigación, como cosmético, para la construcción, etcétera (Johnson, 2002: 5). Lo que interesa en la clasificación de una patente es la característica técnica-ingenieril o el campo de aplicación, o ambos, lo que puede ser distante de su aplicación sectorial en términos económicos. Un transformador eléctrico

¹²La IPO asigna un código, mientras que la Japan Patent Office puede adjudicar varios (OECD, 2009: 87).

¹³Existen *softwares* especializados en detectar infracción de patentes, áreas nuevas de desarrollo de patentes y otros aspectos, que son usados por oficinas de patentes, por abogados y por diversos usuarios con el propósito de detectar violación de patentes, identificar áreas de innovación y modificar el texto de la patente para hacerlo más viable de ser aprobada, entre otros.

va a ser catalogado en electricidad y sus subespecificaciones de potencia, voltaje, etcétera; pero no sabemos si es utilizado en la industria de línea blanca, en juguetes, en maquinaria hidráulica para agricultura u otro sector económico.

La clasificación de la patente mediante códigos técnicos la otorga el examinador, basándose en el campo técnico descrito por el inventor o los inventores en el texto de la solicitud de la patente.¹⁴ Cuando ésta abarca varios campos técnicos, es posible que el examinador opte por otorgar varios códigos a una misma patente. Como las áreas de desarrollo técnico científico se especializan permanentemente, la World International Patent Office (WIPO), que elabora la clasificación IPO, la actualiza de forma constante. Pero ocurre que la realidad siempre va más rápido que la formalización institucional, por lo cual, cuando comienzan nuevas áreas de desarrollo científico-técnico, como las nanotecnologías, las clasificaciones no son adecuadas, de manera que las patentes se clasifican en varios campos; pero a medida que se establecen nuevas clasificaciones, como fue el caso de la nanotecnología a partir 2011, el examinador tiene mayor posibilidad de otorgar un solo código e identificar con ello a la patente. De manera que la cantidad de códigos que una patente reciba (*patent scope*), no necesariamente tiene sólo que ver con la amplitud de la misma en términos reales, sino que a veces puede tener que ver con el momento histórico y el grado de desarrollo del sistema clasificatorio (Squicciarini, Dernis y Criscuolo, 2013).

La clasificación IPC y otras como la Europea (Cooperative Patent Classification [CPC]) utilizan ocho secciones (A a H), subdivididas en clases, subclases, grupos y subgrupos. En total hay más de 70,000 subgrupos. Como puede verse en el cuadro de las secciones (véase cuadro 1), éstas no tienen relación directa con los sectores económicos, y es imposible pensar que se pueda trabajar en un análisis económico con 60 mil subgrupos, ni siquiera con las subclases que pasan las 600.

Luego de que varios países lanzaron iniciativas o programas nacionales de nanotecnología, las aplicaciones y otorgamiento de patentes en el área se dispararon. Analistas estiman que las patentes de nanotecnología aumentaron más de diez veces entre 2000 y 2012 a nivel mundial (Jordan, Kaiser y Moore, 2014). Dado el incremento de patentes en nanotecnología, la IPC ha elaborado una categoría que permitió su clasificación en una subclase a partir de 2011, la B82Y. Esta subclase se subdivide, a su vez, en nueve grupos, como puede verse en el cuadro 2.

¹⁴Para el caso de las patentes en el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual, véase la guía para la solicitud de patentes, disponible en <http://www.impi.gob.mx/patentes/Paginas/GuiaPatentesModelosUtilidad.aspx>

Cuadro 1
 CLASIFICACIÓN DE IPC Y CPC DE LAS PATENTES
 EN 8 SECCIONES

The eight IPC and CPC sections

-
- A Human necessities
 - B Performing operations; transporting
 - C Chemistry; metallurgy
 - D Textiles, paper
 - E Fixed constructions
 - F Mechanical engineering; lighting; heating; weapons; blasting engines or pumps
 - G Physics
 - H Electricity
-

El sistema CPC es una extensión de la IPC y es utilizado por la Oficina Europea de Patentes y la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos. Tanto el IPC como el CPC se dividen en ocho secciones (AaH), y estos se subdividen en clases, subclases, grupos y subgrupos.

Fuente: European Patent Office (2013).

Cuadro 2
 CLASIFICACIÓN DE LAS PATENTES EN NANOTECNOLOGÍA
 EN SUBCLASE Y EN NUEVE GRUPOS

| <i>Code</i> | <i>Title</i> |
|-------------|---|
| B82Y | NANOTECHNOLOGY |
| B82Y5/00 | Nano-biotechnology or nano-medicine, <i>e.g.</i> protein engineering or drug delivery |
| B82Y10/00 | Nano-technology for information processing, storage or transmission, <i>e.g.</i> quantum computing or single electron logic |
| B82Y15/00 | Nano-technology for interacting, sensing or actuating, <i>e.g.</i> quantum dots as markers in protein assays or molecular motors |
| B82Y20/00 | Nano-optics <i>e.g.</i> quantum optics or photonic crystals |
| B82Y25/00 | Nano-magnetism, <i>e.g.</i> magnetoimpedance, anisotropic magnetoresistance, giant magnetoresistance or tunneling magnetoresistance |
| B82Y30/00 | Nano-technology for materials or surface science, <i>e.g.</i> nano-composites |
| B82Y35/00 | Methods or apparatus for measurement or analysis of nano-structures |
| B82Y40/00 | Manufacture or treatment of nano-structures |
| B82Y99/00 | Subject matter not provided for in other groups of this sub-class |

Fuente: European Patent Office (2013).

Sin embargo, esta clasificación no significa que allí se incluyan todas las patentes en nanotecnología. Puede haber patentes que no se registren con estos códigos; además, aquéllas registradas antes de 2011 no tienen dicha

clasificación.¹⁵ Para salvar estos problemas los investigadores utilizan una serie de palabras clave, que denotan los diversos campos de I+D de las nanotecnologías, procurando cubrir la mayor cantidad de patentes. Debido al carácter dinámico de las clasificaciones de las bases de datos y a la diversidad de categorías de las clasificaciones, este tipo de estrategia de búsqueda tampoco está ausente de dificultades.

Como la patente se registra según criterios ingenieriles y químicos, y no según criterios económicos, para el análisis socioeconómico hay que traducir los códigos de clasificación en sectores económicos, que además permitan agrupar las decenas de miles de códigos en sectores económicos más concentrados;¹⁶ el procedimiento se conoce como método de concordancia.

La concordancia entre código de patente y sector económico puede ser relativamente sencillo cuando se revisa una patente individualmente; pero se convierte en un desafío inmenso cuando se trabajan datos estadísticos de patentes, ya que en este caso se requiere de un procedimiento automático de concordancia entre los códigos de patente y los códigos de sectores económicos. El problema se agrava porque muchas patentes son clasificadas según varios códigos, con lo cual la suma de los códigos es mayor que la cantidad de patentes.¹⁷

Varias metodologías fueron desarrolladas para establecer concordancias entre los códigos de patente del IPC y otros, y los códigos de estadísticas económicas como la NACE de Europa o la ISIC de Naciones Unidas. Básicamente han habido dos enfoques. Uno basado en posibilidad de frecuencia de correlación, y otro en correlaciones teórico-técnicas sustentadas por muestras estadísticas.

Entre 1972 y 1995 la CIPPO (Oficina de Patentes de Canadá) asignó a cada patente no sólo el código IPC, sino simultáneamente otros dos códigos. Uno que respondía a la industria que manufacturaría el producto y otro código al sector que lo usaría. Esto dio como resultado una base de datos con al menos tres códigos por patente para más de 300 mil patentes (Johnson, 2002). La Yale Technology Concordance (YTC) es una metodología que utilizó aquella base de datos de la CIPPO para elaborar un modelo que determine la probabilidad de que un código IPC llegue a ser producido por determinado sector manufacturero y usado en otro sector económico (Kortum y Putnam,

¹⁵Hay esfuerzos por reclasificar patentes más antiguas.

¹⁶“IPC is based on technological categories and cannot be directly translated into industrial sectors” (Schmoch, Laville, Patel y Frietsch, 2003).

¹⁷La lista de patentes en nanotecnología en México entre 1993 y 2014 y según la base de datos de Espacenet es de 217, pero como varias se registran bajo más de un código el total de códigos es de 334.

1997). El modelo creado podría ser aplicado a cualquier base de datos de patentes que sólo anotara el código de la innovación en cuestión, como es la IPO y otras clasificaciones. Esta metodología fue utilizada para correlacionar los códigos IPO a la clasificación industrial de Estados Unidos (Silverman, s.f.). Posteriormente, este modelo fue utilizado para establecer una tabla de concordancia entre la IPO y la ISIC (United Nations, 2008), metodología patrocinada por la OECD y llamada OECD Technology Concordance [OTC] (Johnson, 2002).

En 2014 Lybbert y Zolas elaboraron una metodología que también asigna frecuencias probabilísticas de correspondencia con sectores económicos, pero en lugar de estar basada en los registros de la CIPO canadiense, se basaba en un sistema de minería de palabras clave en el registro de patentes.

El otro enfoque se basó en correlaciones teórico-técnicas en lugar de frecuencias de probabilidad. Las principales metodologías de concordancia son la MERIT que liga la patente a la industria de origen más relacionada (Verspagen, Van Moergastel y Slabbers, 1994); y la DG (Schmoch, Laville, Patel y Frietsch, 2003), basada en correlaciones técnicas de expertos apoyadas por muestreos estadísticos.¹⁸ La metodología DG, de Schmoch *et al.* (2003) fue recientemente adaptada por la Eurostat para establecer una comparación entre la IPC y la clasificación Europea NACE (Van Looy Vereyen y Schmoch, 2014). Como la clasificación de la NACE es igual que la ISIC de Naciones Unidas para los primeros tres dígitos,¹⁹ y esta última permite clasificaciones sectoriales económicas para cualquier país, utilizaremos esta última metodología para convertir las patentes registradas con dirección de inventor en México con código IPC a sectores económicos. Esta metodología permite establecer una correspondencia directa entre las 625 subclases de la IPC con los 27 sectores de NACE.

Metodología

Con el fin de caracterizar el campo de las nanotecnologías en las patentes mexicanas y frente a las dificultades que el análisis de patentes implica, esta

¹⁸Resúmenes de estas y otras metodologías pueden verse en Schmoch *et al.* (2003), y Lybbert y Zolas (2014).

¹⁹“NACE is a derived classification of ISIC: categories at all levels of NACE are defined either to be identical to, or to form subsets of, single ISIC categories. The first level and the second level of ISIC Rev. 4 (sections and divisions) are identical to sections and divisions of NACE Rev. 2. The third and fourth levels (groups and classes) of ISIC Rev. 4 are subdivided in NACE Rev. 2 according to European requirements. However, groups and classes of NACE Rev. 2 can always be aggregated into the groups and classes of ISIC Rev. 4 from which they were derived” (Eurostat, s.f.).

investigación incorporó tres métodos; uno para cada una de las etapas. En lo que sigue se explica: *a)* el método de captura de información sobre patentes mexicanas en nanotecnología; *b)* el método de concordancia de términos técnicos en sectores económicos; y, *c)* el método de adjudicación de usos de las patentes a su potencial ubicación en una cadena de valor de las nanotecnologías.

Método de captura de información sobre patentes mexicanas en nanotecnología

Las patentes otorgadas son publicadas por las diversas oficinas de propiedad intelectual. Estas instituciones cuentan con bases de datos sobre las patentes y el acceso a la información varía en función de diversos factores como el costo de acceso, la estructura de las bases de datos, las plataformas para la consulta de la información, etcétera. Además de las instituciones de propiedad intelectual existen otras que elaboran bases de datos de patentes. Algunas de éstas son especializadas en los diferentes campos tecnológicos (por ejemplo en materiales, en biotecnología, en medicina); otras bases de datos son de carácter general en términos de los campos tecnológicos, pero sólo comprenden patentes producidas y otorgadas en ciertas regiones y países.

Una de las más amplias bases de datos es mantenida por la Oficina Europea de Patentes (EPO, por sus siglas en inglés), que cuenta con un servicio de acceso gratuito llamado Espacenet. Esta plataforma en línea permite el acceso a cuatro bases de datos de patentes:

1. LATIPAT Espacenet: colección de patentes de España y varios países de América Latina (entre los cuales está México), que cuenta con más de 2.5 millones de referencias de patentes.
2. Worldwide: colección completa de las solicitudes de patentes de más de 90 países.
3. WIPO: colección completa incluyendo texto completo de las solicitudes de PCT publicadas.
4. EP: colección completa incluyendo texto completo de las aplicaciones europeas publicadas.

En la exploración de las bases de datos propuestas en el ESPACENET hemos identificado algunas limitantes. La primera es el número de palabras clave en la búsqueda. Para unas bases de datos el límite es de 10 palabras (Worldwide,

WIPO y EP) y para otras es de 20 palabras (LATIPAT). Los campos de búsqueda que se proponen en las bases de datos es otra limitante ligada a la primera. En las bases de datos LATIPAT, WIPO y EP se proponen tres campos a partir de los cuales se pueden identificar las patentes en nanotecnología: título, título o resumen, y texto completo. En la base de Worldwide sólo se propone los campos de título y de título y resumen. Además, el motor de búsqueda sólo reconoce los operadores booleanos *and* y *or*, lo que reduce la posibilidad de la combinación de palabras clave en la búsqueda.

Tomando en cuenta estas limitantes, la búsqueda de las patentes se ha aplicado a la base de datos global (Worldwide), ya que contiene información de 90 países, incluido México. La estrategia empleada consistió en efectuar diversas búsquedas cuyos términos no sean mayores a 10 palabras en los campos del título y los resúmenes de las patentes. Para identificar las patentes relacionadas con México, se ha empleado la forma “Mx” en el campo del inventor, que permite identificar las patentes desarrolladas en México.

En el anexo 1 se muestran las palabras empleadas en las búsquedas, así como sus resultados. Las palabras clave utilizadas se caracterizan por identificar, por una parte, patentes sobre la síntesis y aplicaciones a la escala nanométrica. Por otra parte, otras palabras clave nos permiten identificar patentes sobre instrumentos, dispositivos y técnicas para la caracterización a esta escala. La tercera búsqueda nos permite identificar las patentes que contienen el acrónimo “nm” (nanómetro). La cuarta, quinta y sexta búsquedas están orientadas a identificar las patentes que conciernen a instrumentos y técnicas de caracterización a la escala nanométrica. Cada una de estas búsquedas arrojó resultados diferentes y fueron exportadas a una sola base de datos, en la cual se han eliminado las referencias repetidas. La base final está conformada de 217 referencias de patentes con al menos un inventor en México.

Método de concordancia de códigos técnicos en clasificación económica

La segunda etapa de la investigación consistió en establecer la concordancia entre los códigos técnicos registrados en la base de datos de Espacenet de patentes en clasificación económica. Una vez identificadas las patentes, se utilizó la metodología DG de concordancia utilizada por la Eurostat (Van Looy *et al.*, 2014) para adjudicar códigos de clasificación económica a las patentes.

El primer paso consistió en distribuir las patentes según la cantidad de códigos IPC (usos) que incluía. Así, por ejemplo, bajo la IPC identificamos 70 patentes que tienen un solo uso registrado, 57 que tienen dos usos y así en adelante (véase anexo 2).

El segundo paso consistió en aplicar la metodología DG de concordancia. Ello redujo considerablemente la cantidad de patentes con más de un código, ya que al pasar los códigos IPC —que pueden llegar a ser decenas de miles— a sectores NACE —que son sólo 27—, muchas patentes que tenían varios códigos IPC estaban contemplados en el mismo sector NACE. La comparación puede verse en el anexo 2.

Aun aplicando la concordancia a las 217 patentes, 86 permanecían con más de un sector NACE (más de un código) (véase anexo 2). A estas 86 patentes se aplicó un procedimiento de selección manual del código NACE (sector económico) que correspondiera con la descripción del título de la patente. Cuando ésta correspondía a una empresa, se siguió el criterio de seleccionar el código más relacionado con la aplicación que tendría la invención patentada pero más cercano a la actividad principal de la empresa.²⁰ Cuando la patente corresponde a un centro de investigación, se seleccionó el código más relacionado con la aplicación que tendría la invención patentada. Así, por ejemplo, una patente cuyo resumen plantea la fabricación de un polímero nanohabilidadado no debiera pertenecer al sector de maquinaria y equipo, como aparecía en algún caso. De esta forma se eliminan los sectores que tienen menor concordancia con la aplicación final de la invención.

Método de correlación de patentes en la cadena de valor de las nanotecnologías

El análisis de las patentes en relación con una cadena de valor simple de las nanotecnologías tiene como propósito identificar la ubicación de la investigación respecto al mercado, o, de otra forma, la investigación básica de la investigación aplicada.

Se partió de una cadena de valor simple, compuesta por sólo cuatro fases: materia prima, materiales intermedios, productos finales e instrumentos para nanotecnología (Lux Research, 2004). Para la adjudicación de cada patente a un lugar en la cadena de valor se utilizaron términos de búsqueda que identifican a cada una de estas etapas. Se seleccionaron, en primer lugar, los términos de búsqueda que identifican a los nanointermediarios. Se comenzó por esta fase intermedia porque muchas de las patentes sobre na-

²⁰Este es el procedimiento utilizado en la metodología MERIT.

nointermediarios incluyen términos que también pueden identificar nano materia prima, como es el caso de nanopartícula, nanotubo de carbono, nanoplata, etcétera; pero no ocurre al contrario; si, por ejemplo, aparece el término *coating* es porque se trata de la funcionalización de un producto con nanopartículas y es claramente un producto intermediario. Los términos de búsqueda utilizados pueden verse en el cuadro 6.

Una vez seleccionados los términos de búsqueda, se filtraron los títulos de todas las patentes según los términos de la fase de nointermediarios; y en el orden en que aparecen en el cuadro, de manera que si una patente repetía un término, se la clasificó por el primero que surgía. Con este paso se obtuvieron las patentes correspondientes a la fase de nointermediarios de la cadena de valor.

A las patentes restantes se les aplicó otro filtro, que consistió en los términos que identifican a las nanomaterias primas (véase cuadro 6). Las patentes identificadas fueron catalogadas como nanomateria prima.

Las patentes restantes (75) fueron pasadas por un filtro que identifica aquellas relativas a la fase de la cadena de valor de instrumentos, mediante los términos anotados en el cuadro 6. El resultado de estas fases sucesivas permitió clasificar la mayoría de las patentes (68 por ciento). El resto fue clasificado manualmente a partir del título de la patente.

Análisis y resultados

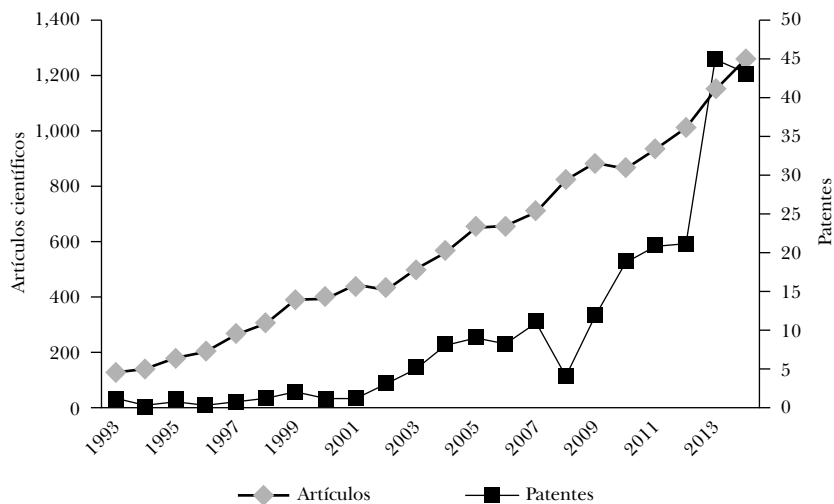
Patentes y su distribución

Un indicador interesante de observar es la evolución de la producción de patentes complementada con otro tipo de datos bibliométricos. La gráfica 1 muestra, por un lado, la evolución para las patentes en nanotecnología con al menos un inventor radicado en México y, por otro lado, se compara con la evolución de los artículos producidos en nanociencias y nanotecnologías.²¹ El interés de hacer la comparación de ambos indicadores consiste en observar la evolución de la producción de ambos tipos de documentos, cuyos resultados en este caso constatan el estado embrionario de la transferencia de nanotecnología si se mide en patentes. Esto se refleja en el alto índice de la producción de artículos científicos frente al crecimiento discontinuo de las patentes. Por otro lado, la evolución de ambos indicadores nos muestra

²¹La obtención de los datos sobre la producción de artículos científicos en el campo de las nanociencias y nanotecnologías en México se ha hecho a partir de la consulta de la Web of Science empleando las mismas palabras clave de la estrategia de búsqueda usada para las patentes, esto con el fin de poder comparar las evoluciones de ambos tipos de indicadores.

Gráfica 1

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS PRODUCIDOS EN MÉXICO VS. PATENTES DE MEXICANOS EN NANOTECNOLOGÍA



Fuente: Elaboración propia a partir de Espacenet y Web of Science.

que la evolución de la producción de artículos científicos ha seguido las tendencias globales con su despegue en la década de los años noventa. Para el caso de las patentes, y al igual que en el resto del mundo, el registro de patentes se incrementa con la primera década del siglo en México.

La primera patente publicada es de 1993, lo cual corresponde *grosso modo* con el inicio de las patentes en nanotecnología en muchas otras regiones del mundo. También a principios de los años noventa comienzan a publicarse artículos científicos sobre nanotecnologías por autores radicados en México de manera significativa (Robles-Belmont y Vinck, 2011). Sin embargo, durante toda la década de los noventa se publicaron seis patentes en México, siendo que el crecimiento sustantivo se da a principios de la segunda década del siglo XXI. Esto significa un rezago relativo en el ritmo de crecimiento de entre siete y ocho años respecto de la tendencia mundial de los países desarrollados, que tienen su punto de inflexión desde los primeros años del siglo. Podría afirmarse que la investigación en nanotecnologías en México arranca de manera colectiva entrados los años noventa; mientras que la innovación medida en patentes comienza a manifestarse al menos una década después.

En el periodo de 21 años (1993-2014) se registran en México 217 patentes en nanotecnología, con inventor radicado en el país. El cuadro 3 ilustra la concentración de estas patentes según tipo de aplicante y, únicamente, para quienes han registrado tres o más patentes. Se distinguen tres grupos: centros de investigación e instituciones públicas; empresas privadas; y, personas físicas.

Cuadro 3
CONCENTRACIÓN DE LAS PATENTES POR APLICANTE

| <i>Solicitantes</i> | <i>Patentes</i> | <i>% de 217</i> |
|--|-----------------|-----------------|
| Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) [Mx] | 29 | 13.36 |
| Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) [Mx] | 23 | 10.60 |
| Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) [Mx] | 20 | 9.22 |
| Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) [Mx] | 13 | 5.99 |
| Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) [Mx] | 9 | 4.15 |
| Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV) [Mx] | 7 | 3.23 |
| Industria Peñoles S. A. de C. V. [Mx] | 6 | 2.76 |
| Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) [Mx] | 5 | 2.30 |
| Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) [Mx] | 5 | 2.30 |
| Instituto Politécnico Nacional (IPN) [Mx] | 5 | 2.30 |
| Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) [Mx] | 4 | 1.84 |
| Universidad de Sonora (UNISON) [Mx] | 4 | 1.84 |
| Vidrio Plano de México, S.A. de C.V. [Mx] | 4 | 1.84 |
| Universidad Autónoma de Baja California (UABJ) [Mx] | 4 | 1.84 |
| Allemann Eric [Ch] | 3 | 1.38 |
| Fessi Hatem [Fr] | 3 | 1.38 |
| Doelker Eric [Ch] | 3 | 1.38 |
| Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) [Mx] | 3 | 1.38 |
| Quintanar Guerrero David [Mx] | 3 | 1.38 |
| Total de patentes con aplicantes que han registrado tres o más | 153 | 70.51 |

Fuente: Elaboración propia a partir de Espacenet.

El cuadro cubre 153 patentes del total de 217. Los renglones sombreados identifican a instituciones de investigación pública, que registran 83 por ciento de las patentes que aparecen en el cuadro, y muestran la clara concentración de éstas en las instituciones públicas.

Si se analiza la distribución total de las patentes por aplicante, en lugar de su concentración, la imagen cambia, pasando la empresa privada y las personas físicas sumadas a registrar en torno del 30 por ciento de las patentes (véase cuadro 4).

Cuadro 4
DISTRIBUCIÓN ANUAL DE PATENTES POR APLICANTE

| <i>Año</i> | <i>Instituciones públicas</i> | <i>Empresas privadas</i> | <i>Personas físicas, particulares</i> | <i>Total</i> |
|--------------|-----------------------------------|------------------------------|---|--------------|
| 1993 | – | 1 | – | 1 |
| 1994 | – | – | – | 0 |
| 1995 | – | 1 | – | 1 |
| 1996 | – | – | – | 0 |
| 1997 | 1 | – | – | 1 |
| 1998 | 1 | – | – | 1 |
| 1999 | 2 | – | – | 2 |
| 2000 | – | 1 | – | 1 |
| 2001 | 1 | – | – | 1 |
| 2002 | 2 | 2 | – | 4 |
| 2003 | 4 | – | 1 | 5 |
| 2004 | 4 | 1 | 2 | 7 |
| 2005 | 8 | 1 | – | 9 |
| 2006 | 8 | – | – | 8 |
| 2007 | 8 | 2 | 1 | 11 |
| 2008 | 4 | – | – | 4 |
| 2009 | 9 | 1 | 2 | 12 |
| 2010 | 11 | 6 | 2 | 19 |
| 2011 | 12 | 4 | 5 | 21 |
| 2012 | 12 | 5 | 4 | 21 |
| 2013 | 31 | 7 | 7 | 45 |
| 2014 | 30 | 10 | 3 | 43 |
| <i>Total</i> | <i>148</i> | <i>42</i> | <i>27</i> | <i>217</i> |

Fuente: Elaboración propia a partir de Espacenet.

El punto de inflexión en el crecimiento de las patentes coincide hacia finales de la primera década en cualquiera de los sectores y la distribución proporcional entre instituciones privadas más personas físicas en relación a las instituciones públicas se mantiene. Podemos afirmar, en términos generales, que entre el 60 y el 70 por ciento de las patentes se originan en instituciones públicas.

Patentes por sectores económicos

Como mencionado al comienzo de este escrito, la clasificación técnica de cada patente no es indicativa del sector económico de innovación que ésta

refleja. Es necesario establecer una mediación para aproximarse a dicha información. En este caso hemos utilizado el método DG de concordancia (Van Looy *et al.*, 2014) para obtener códigos NACE o ISIC a partir de los códigos de patente IPC. El resultado de la distribución al interior del sector manufacturero puede verse en el cuadro 5.

Cuadro 5
PATENTES DE NANOTECNOLOGÍA EN MÉXICO SEGÚN CONCORDANCIA
CON SECTORES ECONÓMICOS

| <i>Sectores y número de usos (códigos) registrados bajo la clasificación NACE para las patentes en nanotecnología en México por sector</i> | | | | |
|--|------------------------------|--|--|---------------------------------|
| <i>Núm. de sector</i> | <i>Número NACE de sector</i> | <i>Nombre del sector</i> | <i>Número total de patentes por sector</i> | <i>% de patentes por sector</i> |
| 1 | 10 | Manufacture of Food Products | 3 | 1.38 |
| 2 | 15 | Manufacture of Leather and Related Products | 1 | 0.46 |
| 3 | 17 | Manufacture of paper and paper products | 1 | 0.46 |
| 4 | 19 | Manufacture of Coke and Refined Petroleum Products | 4 | 1.84 |
| 5 | 20 | Manufacture of Chemicals and Chemical Products | 90 | 41.47 |
| 6 | 21 | Manufacture of Basic Pharmaceutical Products and Pharmaceutical Preparations | 33 | 15.21 |
| 7 | 22 | Manufacture of rubber and plastic products | 6 | 2.76 |
| 8 | 23 | Manufacture of Other Non-Metallic Mineral Products | 18 | 8.29 |
| 9 | 24 | Manufacture of Basic Metals | 5 | 2.30 |
| 10 | 25 | Manufacture of Fabricated Metal Products, except Machinery and Equipment | 7 | 3.23 |
| 11 | 26 | Manufacture of Computer, Electronic and Optical Products | 31 | 14.29 |
| 12 | 27 | Manufacture of Electrical Equipment | 3 | 1.38 |
| 13 | 28 | Manufacture of Machinery and Equipment N.E.C.* | 8 | 3.69 |
| 14 | 32 | Other Manufacturing | 6 | 2.76 |
| 15 | 43 | Specialised Construction Activities | 1 | 0.46 |
| | | <i>Total</i> | <i>217</i> | <i>100,00</i> |

*Not Elsewhere Classified.

Fuente: Elaboración propia a partir de códigos IPC de Espacenet y de códigos NACE, según método DG de concordancia.

El cuadro 5 muestra que las patentes mexicanas sólo cubren 15 sectores de la clasificación NACE, de un total de 27. En el anexo 3 se registran los sec-

tores que no están representados por las patentes mexicanas. De los sectores manufactureros representados, el que concentra más patentes es Manufacture of Chemicals and Chemical Products, sombreado en el cuadro y con 41 por ciento del total. Esto da idea de que la mayoría de las patentes se ubican en investigación básica y en un campo científico bastante consolidado en el país. Si se le suma a este sector los dos que le siguen en cantidad de patentes (Manufacture of Basic Pharmaceutical Products and Pharmaceutical Preparations y Manufacture of Computer, Electronic and Optical Products), tenemos algo más del 70 por ciento del total de las patentes mexicanas. Este hecho señala una fuerte presencia en las áreas de química básica, fármacos, y, electrónicos, óptica y computación, pero coincidiendo con investigación básica. Sigue con 8.29 por ciento el sector de Manufacture of other Non-Metallic Mineral Products, con lo cual, sumado a los anteriores, llega a casi 80 por ciento del total de patentes. De manera que la investigación en nanotecnología en México, analizada mediante patentes con inventores radicados en el país, muestra una clara orientación a la investigación básica y concentrada en la manufactura de productos químicos, fármacos y electrónicos.

Patentes en la cadena de valor de las nanotecnologías

Las patentes sólo reflejan I+D. No tenemos información de cuántas de estas patentes efectivamente se aplican en procesos productivos. Si sólo existen como resultado de I+D, las patentes serían un indicador de la primera fase de una cadena de valor antes del proceso productivo material, propiamente dicho. Otra forma de analizar las patentes en la cadena de valor es a partir de su potencial uso. Este fue el método que utilizamos a seguir.

Según fue explicado en la metodología correspondiente, se seleccionaron palabras clave que identifican si el potencial uso de la patente corresponde a nano materia prima, nanointermedios, productos finales con nanotecnología, o instrumentos para la observación y manipulación de los procesos nanotecnológicos. Los resultados se presentan en el cuadro 6. No fue posible clasificar todas las patentes mediante este procedimiento, sino sólo el 68 por ciento del total de 217 patentes.

Las patentes no clasificadas mediante el procedimiento de búsqueda de términos, y que alcanzaron 69, fueron revisadas y clasificadas manualmente. Los resultados finales de todo el proceso se muestran en el cuadro 7.

Cuadro 6
TÉRMINOS QUE IDENTIFICAN LAS FASES EN LA CADENA DE VALOR;
Y PATENTES RESULTANTES

| <i>Cadena de valor</i> | <i>Términos</i> | <i>Cantidad de patentes</i> |
|---|---|-----------------------------|
| Nano intermediarios (B) | Composit* or compound or assembled | 50 |
| | Sensor or System or detect* | 23 |
| | Coat* or casing or capsul* | 16 |
| | Catalyst* | 11 |
| <i>Subtotal</i> | | <i>100 (46.08%)</i> |
| Nano materia prima (A) | Manufact* or produc* or prep* or proce* or synthe* + carbon nanotubes or tita* or alumin* or silver or zinc or magne* or graph* or cooper or nanoparticle or polymeri* or polyes* or polyis* or cerium or metallic or zeol* or gold | 42 |
| <i>Subtotal</i> | | <i>42 (19.35%)</i> |
| <i>Instrumentos para nanotecnología (D)</i> | Microscope or AFM or SPM or Atomic Force or Atomic-Force or Scanning Probe or Scanning-Probe | 1 |
| | Lithogra* | |
| | Device + measure* | 5 |
| <i>Subtotal</i> | | <i>6 (2.76%)</i> |
| Clasificadas por términos | | 148 (68.20%) |
| Patentes restantes | | 69 (31.80%) |

Fuente: Elaboración propia.

La inmensa mayoría de las patentes corresponden a investigación básica; que engloba a la nano materia prima y a los nanointermediarios (96 por ciento), prioritariamente a los nanointermediarios, es decir, manipulaciones de nano materia prima para funcionalizarla. Esto concuerda con los tres sectores económicos prioritarios de investigación: químico, de fármacos y de equipo electrónico. Prácticamente no hay potenciales usos de patentes en los productos finales, y escasa I+D en instrumentación.

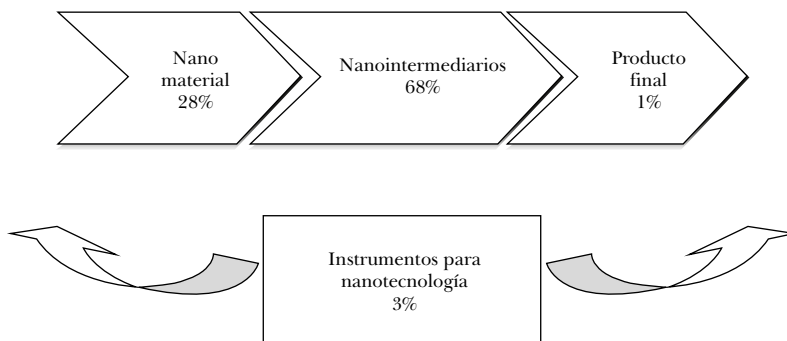
La gráfica 2 ilustra la secuencia de la distribución porcentual de las patentes en la cadena de valor.

Cuadro 7
PATENTES SEGÚN SU LUGAR EN LA CADENA DE VALOR

| <i>Etapa de cadena de valor</i> | <i>Cantidad de patentes</i> | <i>%</i> |
|---------------------------------|-----------------------------|----------|
| Nano materia prima | 61 | 27.57 |
| Nanointermediarios | 147 | 68.22 |
| Productos finales | 3 | 1.40 |
| Instrumentos | 6 | 2.80 |
| Total | 217 | 100.0 |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2
DISTRIBUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN (PATENTES)
EN LA CADENA DE VALOR DE LAS NANOTECNOLOGÍAS



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El análisis de patentes como un indicador que dé cuenta del estado de la transferencia de tecnología en un campo determinado presenta diversas dificultades teóricas y metodológicas. Sin embargo, las patentes pueden ser consideradas un indicador aproximado de la intensidad de las actividades de innovación en un campo tecnológico, para lo cual, el análisis de éstas, debe ser complementado con otros indicadores. Además, el análisis de las patentes puede ser nutrido con el uso cuidadoso de diversas metodologías, desde la identificación de los datos hasta la interpretación de los resultados como se ha señalado en este trabajo.

Los resultados presentados en este estudio muestran un panorama del estado de la transferencia de las nanotecnologías en México a partir de tres análisis diferentes de las patentes producidas en el país. Los diferentes indicadores expuestos son complementarios entre ellos, y aportan elementos que permiten mapear la localización de la producción de los conocimientos tecnológicos (centros públicos de investigación y empresas), su evolución, los posibles sectores donde puede ser explotada esta tecnología, así como la distribución en la cadena de valor de la nanotecnología.

Este panorama constata el rezago relativo de la transferencia de la nanotecnología en México, medida en patentes. Este punto resalta la cuestión de las posibilidades reales para que las empresas mexicanas puedan obtener un beneficio económico derivado de la innovación doméstica, o que México quede como consumidor de estas tecnologías. El rezago en la falta de transferencia tecnológica requiere de un estudio a profundidad para entender mejor las dinámicas en las instituciones públicas y privadas. Además, el perfil de la ciencia básica de las nanotecnologías y la concentración de patentes en instituciones académicas, sugieren la falta de mecanismos de aplicación de los avances de I+D en producción material. Sin embargo, es interesante señalar la existencia de capacidades tecnológicas en el país, mismas que pueden ser utilizadas para el desarrollo y enmarcadas en políticas públicas apropiadas.

Finalmente, la discusión teórica, la metodología empleada y los resultados expuestos en este trabajo resaltan la importancia de atender las dificultades del análisis de las patentes como indicadores de innovación. Además, cabe mencionar que la estrategia metodológica desarrollada en este estudio puede ser replicada para otro tipo de tecnologías emergentes.

Anexo 1

PALABRAS CLAVE Y RESULTADOS DE LAS BÚSQUEDAS DE REFERENCIAS DE PATENTES EN EL CAMPO DE LA NANOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

| <i>Búsqueda</i> | <i>Palabras clave</i> | <i>Referencias</i> |
|-----------------|--|--------------------|
| 1 | Fullerene* or Nanonetwork* or Nanobelt* or Nanoparticle* or Nanobiology or Nanopatterning or Nanobiotechnolog* or Nanophase* or Nanocatalys* | 88 |
| 2 | Nanophotonic* or Nanocomposit* or Nanopigment* or Nanocorn* or Nanoporosit* or Nanocrystalline* or nanocrystal* or Nanopowder* | 25 |

Anexo 1 (*Continuación*)

| <i>Búsqueda</i> | <i>Palabras clave</i> | <i>Referencias</i> |
|-----------------|--|--------------------|
| 3 | Nanodroplet* or Nanorod* or Nanodrug* or Nanoscale or Nanoelectronic* or Nanosieve* or “Nanoelectromechanical systems” | 5 |
| 4 | Nanosiz* or Nanoemulsion* or Nanosphere* or Nanoengineer* or Nanostructur* or Nanofabrication | 30 |
| 5 | Nanotechnology* or Nanofiber* or Nanotemplate* or Nanofilter* or Nanotribology or Nanohybrid* or Nanotube* or Nanoindentation | 37 |
| 6 | Nanowire* or Nanolithograph* or Quantum-dot* or Quantumdot* or “Quantum-dot*” or Nanomaterial* or Quantum-wire* quantumwire* or “Quantum wire*” or Nanomedicine or Quasi-crystal* or Quasicrystal* or “Quasi crystal*” or Nanometrology or Spintronics | 11 0 |
| 7 | Nanoporou* or thinfilm* or “thin-film*” or “sol gel” or sol-gel or solgel or nm or nanometer* | 81 |
| 8 | “electron microscop*” or “atom* force microscop*” or “tunnel* microscop*” or “molecular bean epitaxy” | 15 |
| 9 | “scanning probe microscop*” or “scanning electron microscop*” or “energy dispersive X-ray” | 8 |
| 10 | “Xray photoelectron*” or “electron energy loss spectroscop*” or “reflectance spectroscop*” or “ramanspectroscop*” | 1 |
| | “electron spin resonance” or “scanning probe microscop*” or “extreme-ultraviolet lithography” | 0 |
| 12 | “nuclear magnetic resonance” or “optical lithograph*” or “soft lithograph*” or “scattering spectroscop*” | 2 |
| Total | Resultados sin duplicados | 209 |

Anexo 2

PATENTES EN NANOTECNOLOGÍA SEGÚN CÓDIGOS IPC
Y CANTIDAD DE USOS

| <i>IPC-número de usos (códigos) por patente</i> | <i>Núm. de patentes</i> | <i>NACE-número de usos (códigos) por patente</i> | <i>Núm. de patentes</i> |
|---|-------------------------|--|-------------------------|
| 1 | 70 | 1 | 131 |
| 2 | 57 | 2 | 64 |
| 3 | 34 | 3 | 16 |
| 4 | 33 | 4 | 5 |
| 5 | 14 | 5 | 0 |
| 6 | 4 | 6 | 1 |
| 7 | 0 | 7 | 0 |
| 8 | 1 | 8 | 0 |

| <i>IPC-número de usos (códigos) por patente</i> | <i>Núm. de patentes</i> | <i>NACE-número de usos (códigos) por patente</i> | <i>Núm. de patentes</i> |
|---|-------------------------|--|-------------------------|
| 9 | 2 | 9 | 0 |
| 10 | 1 | 10 | 0 |
| 11 | 0 | 11 | 0 |
| 12 | 1 | 12 | 0 |
| Total | 217 | | 217 |

Anexo 3

SECTORES DE CLASIFICACIÓN NACE NO CUBIERTOS POR PATENTES MEXICANAS DE NANOTECNOLOGÍA

| <i>Núm.</i> | <i>Núm. de sector NACE</i> | <i>Nombre del sector</i> |
|-------------|----------------------------|---|
| 1 | 11 | Manufacture of Beverages |
| 2 | 12 | Manufacture of Tobacco Products |
| 3 | 13 | Manufacture of Textiles |
| 4 | 14 | Manufacture of Wearing Apparel |
| 5 | 16 | Manufacture of Wood and of Products of Wood and Cork, except Furniture; Manufacture of Articles of Straw and Plaiting Materials |
| 6 | 18 | Printing and Reproduction of Recorded Media |
| 7 | 29 | Manufacture of Motor Vehicles, Trailers and Semi-Trailers |
| 8 | 30 | Manufacture of Other Transport Equipment |
| 9 | 31 | Manufacture of Furniture |
| 10 | 42 | Civil Engineering |
| 11 | 62 | Computer Programming, Consultancy and Related Activities |

Fuente: Elaboración propia.

Fuentes consultadas

- AITF (2010, June 17). Alberta Nano Asset Map. Recuperado el 16 de abril de 2015 http://www.albertatechfutures.ca/Portals/0/documents/newsroom/publications/2010/Alberta_Nanotechnology_Asset_Map_2009.pdf
- ALENCAR, M. S. M., Porter, A. L. & Antunes, A. M. S. (2007). Nanopatenting patterns in relation to product life cycle. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(9), 1661-1680. Recuperado de <http://doi.org/10.1016/j.techfore.2007.04.002>
- Azonano.com. (n.d.). Nanotechnology in Massachusetts, USA: Market Report. Recuperado el 16 de abril de 2015 <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3133>

- BAWA, R., Bawa, S. R. & Maebious, S. B. (2005). The Nanotechnology Patent “Gold Rush”. *Journal of Intellectual Property Rights*, 10, 426-433.
- BBF (n.d.). Forschungslandkarte Nanotechnologie (nano-map) | Innovationsbegleitung Neue Werkstoffe und Nanotechnologie. Recuperado el 16 de abril de 2015 <http://www.werkstofftechnologien.de/kompetenzkarten/forschungslandkarte-nanotechnologie/#/?se=u27uzmqc2yde>
- BEDNAREK, M. & Ineichen, M. (2005). Meeting Licensing Challenges in Emergent Sectors: Patent Pools for Financial Services, RFID, Nanotechnology, Bioinformatics, and Nontraditional Sectors. *Licensing Journal*, 25(1), 1-5.
- BESSEN, J., Ford & Meurer, M. J. (2011). The private and social costs of patent trolls. *Boston University School of Law Working Paper 11-45 (September 19, 2011)* (Sept 19), 11-45.
- BRESNAHAN, T. F. & Trajtenberg, M. (1995). General purpose technologies “Engines of growth”? *Journal of Econometrics*, 65(1), 83-108. Recuperado de [http://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01598-T](http://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01598-T)
- CHEN, H., Roco, M. C., Li, X. & Lin, Y. (2008). Trends in nanotechnology patents. *Nature Nanotechnology*, 3(3), 123-125. Recuperado de <http://doi.org/10.1038/nnano.2008.51>
- CHRISTIANSEN, R., Maebius, S., Radomsky, L. & Rutt, S. (2009). IP Disputes and Nanotechnology Company Bankruptcies. *Nanotechnology Law & Business*, 6, 374.
- COHEN, W. M., Nelson, R. R. & Walsh, J. P. (2000). Protecting Their Intellectual Assets: Appropriability Conditions and Why U.S. Manufacturing Firms Patent (or Not). *National Bureau Working Paper, 7552* (National Bureau of Economic Research). Recuperado de <http://www.nber.org/papers/w7552>
- European Patent Office. (2013). Nanotechnology and patents. European Patent Office. Recuperado de http://mke.ntua.gr/documents/10179/128867/nanotech_brochure_en.pdf/63323f3b-af9b-4fc1-9b3a-08bfea-fc43c9
- Eurostat. (n.d.). NACE Rev. 2. Introductory Guidelines. Recuperado el 30 de marzo de 2015 <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/1965800/1978839/NACEREV.2INTRODUCTORYGUIDELINESEN.pdf/f48c8a50-feb1-4227-8fe0-935b58a0a332>
- FAN (2012). *Quién es quién en nanotecnología*. Buenos Aires: Fundación Argentina de Nanotecnología.
- FREDERICK, S. (n.d.). California in the NanoEconomy. Recuperado el 16 de abril de 2015 <http://californiananoeconomy.org/>
- GAMBARDELLA, A., Giuri, P. & Luzzi, A. (2007). The market for patents in Europe. *Research Policy*, 36, 1163-1183.

- GIURI, P., Mariani, M., Brusoni, S., Crespi, G., Francoz, D., Gambardella, A., Verspagen, B. (2007). Inventors and invention processes in Europe: Results from the PatVal-EU survey. *Research Policy*, 36(8), 1107-1127. Recuperado de <http://doi.org/10.1016/j.respol.2007.07.008>
- Government of Canada, I. C. (2002, October 30). Company Directories-Canadian Nanotechnologies Industries. Recuperado el 31 de marzo de 2015 https://www.ic.gc.ca/eic/site/aimb-dgami.nsf/eng/h_00003.html
- GUELLEC, D. & Meniere, Y. (2014). Markets for patents: actors, workings and recent trends. In *Patent Markets in the Global Knowledge Economy* (Madiès, Thierry; Guellec, Dominique; Prager, Jean-Claude).
- JOHNSON, D. K. (2002). *The OECD Technology Concordance (OTC)* (OECD Science, Technology and Industry Working Papers). Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. Recuperado de <http://www.oecd-ilibrary.org/content/workingpaper/521138670407>
- JORDAN, C. C., Kaiser, I. N. & Moore, V. C. (2014). 2013 Nanotechnology Patent Literature Review: Graphitic Carbon-Based Nanotechnology and Energy Applications Are on the Rise. *Nanotechnology Law & Business*, 11(2), 111-125.
- KATZNELSON, R. (2013, October 24). Questionable Science Used to Misguide Patent Policy. Recuperado de <http://www.ipwatchdog.com/2013/10/24/questionable-science-used-to-misguide-patent-policy/id=45879/>
- KORTUM, S. & Putnam, J. (1997). Assigning Patents to Industries: Tests of the Yale Technology Concordance. *Economic Systems Research*, 9(2), 161-176. Recuperado de <http://doi.org/10.1080/09535319700000011>
- LAUTERWASSER, C. (2005). *Small sizes that matter: Opportunities and risks of Nanotechnologies*. London/Ismaning: Report in co-operation with the OECD International Futures Programme. Recuperado de <http://www.oecd.org/chemicalsafety/nanosafety/37770473.pdf>
- Lux Research (2004, September 30). Sizing nanotechnology's value chain. Recuperado de https://portal.luxresearchinc.com/research/report_excerpt/2650
- LYBBERT, T. J. & Zolas, N. J. (2014). Getting patents and economic data to speak to each other: An "Algorithmic Links with Probabilities" approach for joint analyses of patenting and economic activity. *Research Policy*, 43(3), 530-542. Recuperado de <http://doi.org/10.1016/j.respol.2013.09.001>
- MADIÈS, T., Guellec, D. & Prager, J.-C. (Eds.) (2014). *Patent markets in the global knowledge economy: theory, empirics and public policy implications*. New York: Cambridge University Press.

- McCLURE, I. (2014). Una alternativa de mercado a los problemas del sistema de patentes. *Revista de La OMPI*, 1. Recuperado de http://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2014/01/article_0005.html
- MUNOZ-SANDOVAL, E. (2013). Trends in nanoscience, nanotechnology, and carbon nanotubes: a bibliometric approach. *Journal of Nanoparticle Research*, 16(1), 1-22. Recuperado de <http://doi.org/10.1007/s11051-013-2152-x>
- National Nanotechnology Initiative (n.d.). NNI Budget | Nano. Recuperado el 15 de abril de 2015 <http://www.nano.gov/about-nni/what/funding>
- OCDE (2010). *Manual de estadísticas de patentes de la OCDE*. Oficina Española de Patentes y Marcas, Ministry of Industry, Tourism and Trade. Recuperado de http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/manual-de-estadisticas-de-patentes-de-la-ocde_9788496113176-es
- _____ (2009). *OECD Patent Statistics Manual*. OECD Publishing. <http://www.oecd.org/sti/inno/oecdpatentstatisticsmanual.htm>
- _____ (n.d.). Patent data-Emerging technologies | Innovation Policy Platform. Recuperado el 14 de marzo de 2015 <https://innovationpolicyplatform.org/content/patent-data-emerging-technologies>
- REGALADO, A. (2004, June 18). Nanotechnology Patents Surge As Companies Vie to Stake Claim. *The Wall Street Journal*, p. A1. New York.
- ROBLES-BELMONT, E. & De Gortari, R. (2014). Nanosciences and Nanotechnologies without National Initiative? In S. Ramani (Ed.), *Nanotechnology: What's in it for emerging countries?* (Ramani, S.V. (Ed.), 182-2010). Cambridge University Press.
- ROBLES-BELMONT, E. & Vinck, D. (2011). A Panorama of Nanoscience Developments in Mexico Based on the Comparison and Crossing of Nanoscience Monitoring Methods. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 11(06), 5499-5507.
- SCHMOCH, U., Laville, F., Patel, P. & Frietsch, R. (2003, November). Linking Technology Areas to Industrial Sectors. Final Report to the European Commission, DG Research. Recuperado de ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/indicators/docs/ind_report_isi_ost_spru.pdf
- SHEA, C. M., Grinde, R. & Elmslie, B. (2011). Nanotechnology as general-purpose technology: empirical evidence and implications. *Technology Analysis & Strategic Management*, 23(2), 175-192. Recuperado de <http://doi.org/10.1080/09537325.2011.543336>
- SILVERMAN, B. (n.d.). Documentation for International Patent Classification-U.S. SIC concordance. Recuperado el 14 de marzo de 2015 <http://www-2>

- rotman.utoronto.ca/~silverman/ipcsic/documentation_IPC-SIC_concordance.htm
- SQUICCIARINI, M., Dernis, H. & Criscuolo, C. (2013). Measuring Patent Quality. Indicators of technological and economic value. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2013/03, DSTI/DOC (2013)3*(OECD Publishing). Recuperado de <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1787/5k4522wkw1r8-en>
- TAENK (s.f.). The nanodatabase. Taenk. Recuperado de <http://taenk.dk/nyheder/nanodatabase-giver-forbrugerne-overblik>
- United Nations (2008). *International Standard industrial classification of all economic activities (ISIC) (Rev. 4)*. New York: United Nations.
- VAN LOOY, B., Plessis, M. du, Magerman, T., European Commission & Eurostat (2006). *Data production methods for harmonised patent statistics assignee sector allocation*. Luxembourg: Publications Office. Recuperado de <http://bookshop.europa.eu/uri?target=EUB:NOTICE:KSAV06001:EN:HTML>
- VAN LOOY, B., Vereyen, C. & Schmoch, U. (2014, October). Patent Statistics: Concordance IPC V8-NACE REV.2. Eurostat. Recuperado de https://circabc.europa.eu/d/d/workspace/SpacesStore/d1475596-1568-408a-9191-426629047e31/2014-10-16-Final%20IPC_NACE2_2014.pdf
- VERSPAGEN, B., Van Moergastel, T. & Slabbers, M. (1994). MERIT concordance table: IPC ISIC (rev 2). MERIT Research Memorandum 2/94-004. Maastricht Economic Research Institute on Innovation and Technology.
- WASHBURN, D. (2009). The long wait for innovation. *Voice of San Diego*.
- WWICS (2015a). *A nanotechnology consumer products inventory project on emerging nanotechnologies*. Washington DC: WWICS (Woodrow Wilson International Centre for Scholars). Recuperado de <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>
- (2015b). *A nanotechnology consumer products inventory project on emerging nanotechnologies*. Washington DC: WWICS (Woodrow Wilson International Centre for Scholars). Recuperado de <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>
- ZÁYAGO, E., Foladori, G. & Arteaga, E. (2012). Toward an Inventory of Nanotechnology Companies in Mexico. *Nanotechnology Law & Business Journal*, 9, 283-292.
- ZÁYAGO, E., Frederick, S. & Foladori, G. (2014). Twelve years of nanoscience and nanotechnology publications in Mexico. *Journal of Nanoparticle Research*, 16(1). Recuperado de <http://doi.org/10.1007/s11051-013-2193-1>

Difusión de la nanotecnología en Brasil. Análisis preliminar a partir de la Encuesta de Innovación Tecnológica 2011

Carolina Bagattoli*

Noela Invernizzi**

Introducción

El desarrollo de la nanotecnología comenzó a ser estimulado tempranamente en Brasil —las primeras acciones para formación de redes de investigación ocurrieron en 2001— siguiendo la tendencia iniciada por los principales países industrializados. Es importante notar que el impulso gubernamental a esta tecnología emergente se dio en el contexto de profundos cambios en la concepción e institucionalización de la política de ciencia y tecnología (cyT), direccionándose hacia la innovación, y la restauración de las políticas industriales en el país.

Tanto la política de ciencia, tecnología e innovación como la política industrial, atribuyeron a la nanotecnología un carácter estratégico para estimular la innovación y la competitividad del sector productivo nacional. Para ello, nuevos instrumentos de financiamiento a la investigación y desarrollo y a la innovación realizada por empresas y por éstas conjuntamente con instituciones de cyT fueron puestos en práctica. Resulta, así, relevante analizar con qué alcance y dinamismo la nanotecnología viene siendo incorporada al tejido productivo nacional en un contexto en el que confluyen el desarrollo global de una tecnología de aplicación transversal, su posicionamiento como tecnología estratégica en las políticas de cyT e industrial, y el incremento significativo de estímulos financieros a la innovación. ¿Han contribuido tales circunstancias a que la nanotecnología trille un camino diferente a la tradicional baja *performance* de innovación en el país?

*Departamento de Economía y Programa de Post-Graduación en Políticas Públicas. Universidad Federal de Paraná, Curitiba, Brasil. Correo electrónico: carolina.bagattoli@ufpr.br

**Sector de Educación y Programa de Post-Graduación en Políticas Públicas. Universidad Federal de Paraná, Curitiba, Brasil. Correo electrónico: noela@ufpr.br

En este capítulo pretendemos comenzar a responder esta pregunta, indagando en qué medida las empresas nacionales han tendido a incorporar innovaciones basadas en la nanotecnología y qué tipo de innovaciones están siendo realizadas. Para ello, son utilizados los datos disponibles en la PINTEC (Encuesta de Innovación Tecnológica), en su última edición de 2011.

El capítulo se estructura en tres secciones, aparte de la introducción. Primeramente, presentamos los principales cambios institucionales en la política de ciencia, tecnología e innovación y la reemergencia de las políticas industriales en la década del 2000 y repasamos brevemente la inclusión de la nanotecnología en ambas políticas. Enseguida examinamos el financiamiento a la innovación en nanotecnología. En la última sección analizamos el desempeño innovador de las empresas que incorporaron la nanotecnología a sus actividades. Terminamos el capítulo con breves conclusiones.

La nanotecnología en el marco de un nuevo modelo institucional para el estímulo a la innovación

En 2001, el *Libro Verde*, editado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (Silva y Melo, 2001) con el propósito de orientar las discusiones y la elaboración de directrices estratégicas en la Conferencia Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación realizada el mismo año, aportó una evaluación de los alcances y una elocuente crítica a las limitaciones de la política de ciencia y tecnología iniciada en la década de los cincuenta en el país. Fue enfatizada la falta de habilidad del sistema de ciencia y tecnología para integrar al sector productivo, impidiendo la transformación del conocimiento en innovación, y de la innovación en competitividad. Tres indicadores fueron utilizados para demostrar tal déficit: el escaso número de patentes registradas, la baja inversión privada en I+D, y el uso reducido de científicos y técnicos por las empresas privadas.

Este diagnóstico se desdoblaría en un conjunto de acciones para promover la innovación en las empresas a través de incentivos fiscales, tasas de interés preferenciales y subsidios no-reembolsables, el estímulo a la interacción entre centros de investigación y empresas y la contratación de investigadores por éstas. Para ello fue creada una nueva fuente de financiamiento, los fondos sectoriales, y fue promulgado un nuevo marco legal: la *Ley de Innovación* y la llamada Ley “do Bem”.

Iniciados en 1999, y ampliando su esfera de actuación en los años siguientes, los Fondos Sectoriales de Apoyo al Desarrollo Científico y Tecno-

lógico fueron creados con el propósito de articular las demandas de investigación de sectores productivos específicos, tales como petróleo, energía, recursos hídricos, minería, transporte, tecnologías de la información, salud, aeronáutica, agricultura, biotecnología y telecomunicaciones, además de dos fondos transversales para el financiamiento de infraestructura y áreas no contempladas por los anteriores. El financiamiento de los Fondos procede de los sectores productivos contemplados. Los recursos humanos para la investigación provienen de las universidades y centros de investigación en cooperación con empresas.¹ En 2005 fue creada, en el ámbito de los Fondos Sectoriales, la Acción Transversal en Nanotecnología.

Inspirada en el Bayh-Dole Act estadounidense y en la *Ley de Innovación* francesa, la *Ley de Innovación* (núm. 10.973/2004) trata de los incentivos a la innovación y a la investigación científica y tecnológica en las empresas a partir de tres ejes: *I.* la constitución de un ambiente propicio a las asociaciones entre universidades, instituciones científico-tecnológicas (ICT) y empresas; *II.* el estímulo a la participación de las ICT en el proceso de innovación, y *III.* el fomento a la innovación en las empresas. Entre los incentivos previstos por la ley, se destaca la posibilidad de que las ICT realicen contratos de transferencia de tecnología y de licenciamiento de derechos de uso o explotación de creaciones desarrolladas por las instituciones; que puedan compartir laboratorios y demás infraestructura con empresas en proyectos de innovación tecnológica; la autorización de licencia no remunerada a investigadores para que puedan constituir empresas innovadoras; y la concesión de recursos financieros, humanos, materiales y de infraestructura, bajo la forma de subvención económica, financiamiento, participación accionaria, o a través de “encomiendas tecnológicas” por parte del gobierno (Brasil, 2004).

La Ley “do Bem” (núm. 11.196/2005) dispone de incentivos fiscales para la innovación tecnológica. Tales incentivos incluyen, desde reducciones en el impuesto a la renta de personas jurídicas en los gastos realizados con investigación tecnológica y con desarrollo de innovación tecnológica, incluyendo los contratos con universidades, ICT o inventores independientes realizados en el país; depreciación acelerada de máquinas, equipos, aparatos e instrumentos nuevos destinados al uso en actividades de I+D e innovación tecnológica; hasta la amortización acelerada de los gastos relativos a la compra de bienes intangibles vinculados a actividades de I+D y de innovación tecnológica (Brasil, 2005).

Institucionalizada con la aprobación de la *Ley de Innovación* y de la Ley “do Bem”, y reglamentada por el Decreto número 5563, del 11 de octubre

¹Véase <http://www.cnpq.br/web/guest/fundos-setoriais>

de 2005 y actos complementarios, la subvención económica para la innovación consiste en la provisión de recursos financieros de naturaleza no reembolsable para empresas públicas o privadas que desarrollan proyectos innovadores considerados estratégicos para el país. Este instrumento implica una reducción de costos y la disminución de los riesgos involucrados en el proceso de innovación empresarial. Los recursos para los subsidios económicos se aplican a la financiación de actividades de I+D de productos y de procesos innovadores.

La subvención económica prevista en la *Ley de Innovación* se destina a cubrir el financiamiento de las actividades de innovación, incluido el personal, las materias primas, contratos de terceros y gastos con patentes. Además, establece los requisitos legales para la incubación de empresas en el espacio público, y la posibilidad de compartir la infraestructura (equipos y recursos humanos) pública y privada, para el desarrollo tecnológico y la creación de productos y procesos innovadores. La subvención planteada en la Ley “do Bem” prevé el reembolso de parte del valor gastado con la remuneración de los investigadores con título de maestría o doctorado contratados por las empresas (de hasta el 60 por ciento para las personas jurídicas basadas en las áreas de mayor vulnerabilidad social del país, y hasta el 40 por ciento para las empresas con sede en otras regiones del país). En cualquier caso, la propiedad intelectual pertenece a la empresa.

El estímulo a la nanotecnología en el país se desarrolló en el contexto de los cambios normativo-institucionales antes señalados y se benefició de los nuevos mecanismos de apoyo a la innovación. Aunque las investigaciones en este campo preexistían, el financiamiento a las primeras redes de investigación en nanotecnología en 2001 es considerado el marco inicial de las políticas de nanotecnología. En 2003 se creó en el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT) una coordinación específica para el área.² Las acciones se fortalecieron al delinear un Programa de Desarrollo de la Nanociencia y Nanotecnología, incorporado al Plan Plurianual (PPA) 2004-2007 del MCT y con el lanzamiento, en 2005, del Programa Nacional de Nanotecnología, que robusteció el financiamiento, con recursos del PPA y de los fondos sectoriales. La nanotecnología fue caracterizada en tal programa como área estratégica para estimular la competitividad nacional. El lugar destacado de esta tecnología emergente se mantuvo en el Plan de Acción en Ciencia, Tecnología e Innovación (PACTI) 2007-2010, así como en la Estrategia Nacional para Ciencia, Tecnología e Innovación (ENCTI) 2012-2015 (Invernizzi, Korbes

²Originalmente denominada Coordinación General de Políticas y Programas en Nanotecnología, y actualmente Coordinación General de Micro y Nanotecnologías.

y Fuck, 2012). De especial relevancia fue la Iniciativa Brasileña de Nanotecnología (IBN) lanzada en 2013 por el MCTI³ con el propósito de promover el desarrollo científico-tecnológico y la innovación mediante la creación de sinergias y la solución de problemas estratégicos para la generación de productos, procesos y servicios basados en nanotecnología (Plentz y Fazzio, 2013).

En el cuadro 1 se observan las inversiones realizadas por el MCTI en nanotecnología entre 2004 y 2014 que, a pesar de las fluctuaciones anuales, sumaron casi 310 millones de reales. Estos recursos fueron destinados al financiamiento de investigaciones, a la formación de recursos humanos, a la expansión de la infraestructura de laboratorios y a la promoción de la cooperación entre universidades y empresas.

Cuadro 1
INVERSIONES DEL MCTI EN NANOTECNOLOGÍA (2004-2014)

| <i>Año</i> | <i>Inversiones (R\$ reales)</i> |
|------------|---------------------------------|
| 2004 | 5'199,591 |
| 2005 | 74'257,929 |
| 2006 | 32'384,657 |
| 2007 | 53'611,057 |
| 2008 | 45'311,650 |
| 2009 | 20'777,412 |
| 2010 | 5'049,700 |
| 2011 | 5'755,079 |
| 2012 | 2'043,328 |
| 2013 | 58'870,168 |
| 2014 | 6'271,800 |
| Total | 309'532,370 |

Fuente: SETEC/MCTI, datos consolidados por Luciana C. Estevanato (2015).⁴

Al mismo tiempo en que se redefinía el cuadro institucional de las políticas de ciencia, tecnología e innovación, el gobierno de Lula, iniciado en 2002, marcaría el regreso de las políticas industriales. En 2004 fue formulada la PICTE (Política Industrial, Tecnológica y de Comercio Exterior),

³Como corolario de la nueva orientación en la política de cyT hacia la innovación, el Ministerio de Ciencia y Tecnología mudó su denominación para Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MCTI) en agosto de 2011. Por ello aparecen en el texto dos notaciones, MCT y MCTI referidas a hechos anteriores y posteriores a 2011.

⁴Datos obtenidos por medio de solicitud directa a la Coordinación de Micro y Nanotecnología del MCTI.

con el objetivo explícito de fortalecer y ampliar la base industrial de Brasil mediante la mejoría de la capacidad innovadora de las empresas. La PICTE definió a la nanotecnología, junto con la biotecnología y las energías renovables, como “áreas portadora de futuro”. Juntamente con la creación de la Acción Transversal de Nanotecnología de los Fondos Sectoriales, estas acciones fortalecieron el Programa de Desarrollo de la Nanociencia y Nanotecnología arriba mencionado (MCT, 2006). En las siguientes formulaciones de la política industrial, la Política de Desarrollo Productivo (PDP), de 2008, y el Plan Brasil Mayor, de 2011, la nanotecnología destacó, como una tecnología estratégica para estimular la competitividad nacional. En el mismo año 2011, fue creado el Fórum de Competitividad en Nanotecnología, concebido para apoyar el desarrollo de la nanotecnología de acuerdo con la estrategia de la PDP.

También buscando la articulación entre la política de cyT y la política industrial, el MCT, el Ministerio de Desarrollo, Industria y Comercio Exterior (MDIC) y la Asociación Brasileña de Desarrollo Industrial (ABDI) promovieron 13 *workshops* entre 2008 y 2009, en diversas regiones del país, para la divulgación de la nanotecnología en el sector productivo. En 2011, 2012 y 2013 fueron realizados otros tres *workshops* titulados “Nanotecnología, de la ciencia al mundo de los negocios”. Estos eventos resaltaron la importancia estratégica de la nanotecnología para la innovación mostrando casos de suceso, las posibilidades de asociaciones con instituciones de investigación y las fuentes de financiamiento de I+D existentes (Plentz y Fazzio, 2013).

Financiamiento a la innovación en nanotecnología

El MCTI, a través de sus agencias ejecutoras, CNP (Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico) y Finep (Financiadora de Estudios y Proyectos),⁵ ha venido financiando diversas acciones en nanotecnología a partir de los recursos presupuestarios de los Planos Plurianuales y de los Fondos Sectoriales. Substanciales recursos fueron destinados al financiamiento de la investigación y al mejoramiento e instalación de nueva infraestructura, mediante la puesta en acción en 2012 del sisNANO (Sistema de Laboratorios de Nanotecnología). Más recientemente, se ha puesto énfasis en investigaciones en nanotoxicología y nanoinstrumentación. En el cuadro 2 destacamos el financiamiento de actividades directamente vinculadas a la pro-

⁵La Finep, creada en 1969, es una agencia federal de fomento a la innovación y desarrollo tecnológico que actúa apoyando todas las etapas del proceso de innovación, desde la investigación básica hasta la introducción de productos en el mercado. Véase <http://www.finep.gov.br/>

Cuadro 2
FINANCIAMIENTO A LA INNOVACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA

| <i>Año</i> | <i>MCT-Finep ICT empresas</i> | <i>MCT-Finep Subvención económica*</i> |
|--------------|-----------------------------------|--|
| | | (R\$ reales) |
| 2004 | 1'036,189.32 | – |
| 2005 | 4'386,084.50 | – |
| 2006 | 3'136,104.42 | 15'650,421.12 |
| 2007 | ** | 43'929,035.64 |
| 2008 | ** | 4'306,366.82 |
| 2009 | 15'000,652.46 | 5'776,759.60 |
| 2010 | 2'093,164.35 | 3'290,000.00 |
| 2011 | *** | ** |
| 2012 | *** | *** |
| 2013 | 1'989,554.45 | 29'710,167.95 |
| <i>Total</i> | <i>27'641,749.50</i> | <i>102'662,751.13</i> |

*El programa de Subvención Económica comenzó en 2006.

**No hubo llamado en ese año.

***No hubo llamado incluyendo nanotecnología o con proyectos de nanotecnología aprobados.

Fuente: SETEC/MCTI, datos consolidados por Luciana C. Estevanato (2015).⁶ Dato de subvención económica de 2010 tomado de Peixoto (2013).

moción de la innovación en empresas y de éstas en cooperación con ICT (Instituciones Científicas y Tecnológicas. Universidades y centros de investigación).

Llama la atención el hecho de que casi 80 por ciento del financiamiento destinado a estimular la innovación fue canalizado mediante la subvención económica —la concesión de recursos no reembolsables a las empresas. No obstante, como argumenta Peixoto (2013: 140) y es perceptible en el cuadro 2, los fondos disponibles desde la primera edición, en 2006, han sido muy variables. En algunos llamados, la nanotecnología fue un tema específicamente destacado; en otro fue contemplada a través de otras temáticas como salud, energía, etcétera, ocurriendo una significativa reducción de los proyectos financiados en el área.

Los llamados a proyectos cooperativos entre ICT y empresas contaron, en el periodo 2004-2013, con recursos de R\$27.6 millones. El objetivo de estos llamados fue el desarrollo de proyectos para investigación y desarrollo de productos y procesos innovadores. Algunos llamados tuvieron como foco

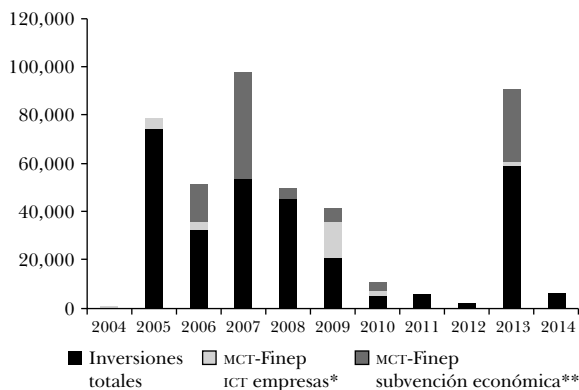
⁶Datos obtenidos por medio de solicitud directa a la Coordinación de Micro y Nanotecnología del MCTI.

específico nanotecnología, y otros involucraron un conjunto más amplio de sectores, incluyendo las áreas portadoras de futuro definidas en la PICTE: biotecnología, nanotecnología y biomasa/energías alternativas.

Aunque el monto de recursos invertido en nanotecnología sea bastante significativo, la gráfica 1 evidencia nuevamente la gran oscilación de los recursos a lo largo del periodo considerado. En el caso del gasto del MCTI, que incluye ciencia básica, montaje de infraestructura, investigación cooperativa con empresas y más recientemente, gastos en el proyecto NanoReg,⁷ se verifica que, en 2014, el presupuesto de R\$ 6 millones equivalió a menos del 10 por ciento del monto invertido en 2005 (R\$ 74 millones). A su vez, los recursos directamente invertidos en la promoción de innovación en las empresas, registraron también inestabilidad. La situación de los proyectos cooperativos es aún más crítica: además de las oscilaciones en el financiamiento, en los años de 2007 y 2008 no se lanzaron llamados y, en 2011 y 2012 no hubo llamados, incluyendo nanotecnología o con proyectos aprobados en nanotecnología.

Gráfica 1

INVERSIONES DEL MCTI EN NANOTECNOLOGÍA (2004-2014), EN MIL REALES



*No hubo llamado en 2007 y 2008. No hubo llamado incluyendo nanotecnología o con proyectos de nanotecnología aprobados en 2011 y 2012.

**El programa de Subvención Económica comenzó en 2006. No hubo llamado en 2011. No hubo llamado incluyendo nanotecnología o con proyectos de nanotecnología aprobados en 2012.

Fuente: Elaboración propia con base en SETEC/MCTI, datos consolidados por Luciana C. Estevanato (2015);⁸ dato de subvención económica de 2010 tomado de Peixoto (2013).

⁷Nanoreg es un proyecto europeo, con participación de países de otros continentes, destinado a producir información científica sobre toxicidad y seguridad de nanomateriales para fines regulatorios. Véase <http://nanoreg.eu/>

⁸Datos obtenidos por medio de solicitud directa a la Coordinación de Micro y Nanotecnología del MCTI.

En lo que respecta a la subvención económica, en 2006, año siguiente a su reglamentación, fueron concedidos R\$15.7 millones para financiamiento de proyectos de nanotecnología, monto que casi triplicó en el año siguiente, llegando a cerca de R\$44 millones. En los años subsecuentes, la concesión de recursos en esta modalidad cayó significativamente, siendo de R\$4.3 millones en 2008, R\$5.8 millones en 2009 y R\$3.3 millones en 2010. Después de 2011 y de 2012, en que no hubo llamados, llamados incluyendo nanotecnología o proyectos aprobados en nanotecnología, la inversión a subir en esta rúbrica, llegando a R\$30 millones en 2013.

Aunque las informaciones disponibles no cubren todo el financiamiento público en nanotecnología,⁹ esta característica de inestabilidad del apoyo estatal a un área considerada estratégica, como resalta la gráfica 1, ciertamente merece ser llevada en consideración en el análisis de los impactos de la política de CTyI en la *performance* de la innovación.

La nanotecnología en el sector productivo brasileño: análisis a partir de la PINTEC

La información actualmente disponible sobre las actividades productivas en nanotecnología es bastante escasa y fragmentaria, lo cual dificulta realizar una evaluación comprensiva del impacto de las políticas de CTyI e industrial sobre la difusión de esta tecnología. En esta sección nos basaremos en informaciones provenientes de la Encuesta de Innovación (PINTEC),¹⁰ que nos brindan un panorama amplio de las actividades de innovación que envuelven la nanotecnología y nos permiten compararlas con la *performance* de

⁹No registramos, por ejemplo, los proyectos financiados mediante diversos llamados de los fondos sectoriales. Hay también una inversión considerable realizada por las Fundaciones de Amparo a la Investigación de los diversos estados de la federación, con destaque para FAFESP, del estado de São Paulo.

¹⁰Producida por el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) con el apoyo de la FINEP y del MCTI, la PINTEC tiene el objetivo de construir indicadores nacionales de las actividades de innovación de las empresas brasileñas a partir de parámetros adoptados internacionalmente. Actualmente en su 5ª edición, tiene como foco los factores que influyen el comportamiento innovador de las empresas, las estrategias adoptadas, los esfuerzos emprendidos y los incentivos, obstáculos y resultados de la innovación (IBGE, 2015). La selección de la muestra de la PINTEC tiene como base el CEMPRE básico de registro (Registro Nacional de Empresas) del IBGE, que se actualiza anualmente por las investigaciones económicas del mismo instituto y por los registros administrativos del Ministerio de Trabajo y Empleo (MTE). Dado el perfil de baja innovación, la PINTEC adopta un recorte de muestra no aleatoria. La estratificación de la muestra fue realizada con el fin de identificar y separar las empresas de acuerdo a las probabilidades de que sean innovadoras. Así, tres estratos fueron creados: un estrato cierto, donde todas las empresas se incluyeron por su alta probabilidad de ser innovadoras, y dos estratos muestreados, diferenciados por el grado de incertidumbre sobre ser o no innovadoras (IBGE 2007: 15).

innovación general del país. No obstante constituir un excelente punto de partida, este enfoque necesita ser complementado por estudios posteriores que aborden las dinámicas de innovación de las empresas y sectores de forma más cualitativa y detallada.

La PINTEC comenzó a incorporar preguntas sobre nanotecnología en 2008. Sin embargo, la publicación que presenta los resultados consolidados de esa edición de la encuesta (IBGE, 2010) no divulgó ningún indicador específico sino, solamente, el cuestionario mencionando tales preguntas en su anexo. Por esa razón, los datos que presentamos en este trabajo son fundamentalmente los divulgados en la PINTEC 2011 (IBGE, 2013), referentes al periodo de 2009 a 2011. Adicionalmente, con el propósito de posibilitar un análisis de trayectoria un poco más amplio, utilizaremos los datos de Peixoto (2013), quien, a partir de un recorte especial de datos obtenido de la PINTEC 2008, examina el periodo anterior, con inicio en 2006.

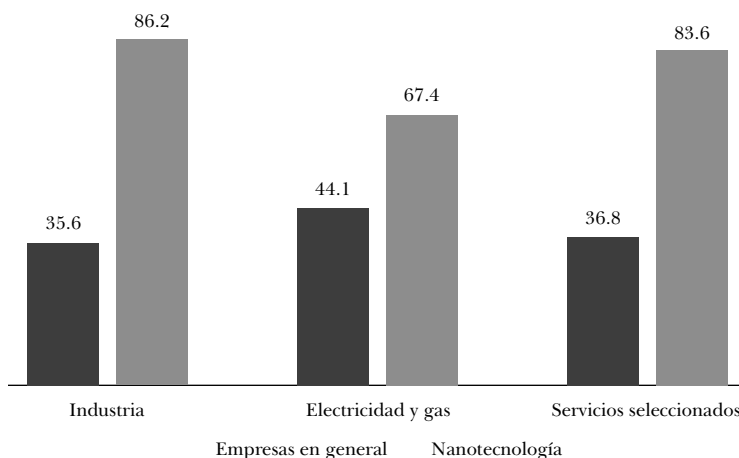
La primera constatación importante a ser realizada a partir de las dos ediciones de la PINTEC, es la tendencia al aumento del número de empresas que iniciaron actividades que envuelven la nanotecnología. En el periodo 2006-2008, fueron reportadas 487 empresas que declararon realizar alguna actividad en nanotecnología. De ellas, 458 eran empresas consideradas innovadoras, es decir, que habían introducido, en ese periodo algún tipo de innovación de producto o proceso (Peixoto, 2013: 161). En el periodo referente a la PINTEC 2011, 1,132 empresas desarrollaron alguna actividad en nanotecnología, siendo 975 de ellas consideradas innovadoras (IBGE, 2013: 67-68). Ello implica una tasa de crecimiento de 132 por ciento para el total de empresas con actividades en nanotecnología, y de 113 por ciento para las innovadoras en un periodo de cinco años.

Al analizar los datos disponibles, llama la atención la gran diferencia en la tasa de innovación (porcentaje de empresas que implementaron algún tipo de innovación tecnológica en el periodo en relación al conjunto de empresas del sector respectivo) entre el conjunto de empresas innovadoras y aquellas que tienen algún tipo de actividad relacionada con la nanotecnología, tal como muestra la gráfica 2.

En las empresas del sector industrial y de servicios seleccionados, la tasa de innovación entre las empresas que desarrollan algún tipo de actividad con nanotecnología es, proporcionalmente, más que el doble de aquella identificada entre las empresas en general. Inclusive en el sector de electricidad y gas, en el que la diferencia en la tasa de innovación entre las empresas en general (44.1 por ciento) y las que tienen actividades en nanotecnología (6.4 por ciento) es menor, llega a ser 50 por ciento mayor en este último grupo.

Gráfica 2

TASA DE INNOVACIÓN DE LAS EMPRESAS QUE TIENEN ALGÚN TIPO DE ACTIVIDAD RELACIONADA CON LA NANOTECNOLOGÍA DE ACUERDO A LOS SECTORES DE ACTIVIDAD (2009-2011)



Fuente: Elaboración propia con base en IBGE (2013).

Con relación al tamaño de las empresas, los datos muestran que la participación porcentual de las empresas innovadoras con actividades en nanotecnología en el total de empresas innovadoras, aumenta conforme al tamaño de la empresa. Mientras las primeras corresponden a 1.8 por ciento del total entre las empresas innovadoras que emplean de 10 a 29 personas en el sector industrial, el indicador llega a 9.6 por ciento entre las que emplean 500 personas o más. En el sector de electricidad y gas, por sus características de mayor concentración, todas las empresas innovadoras con actividades en nanotecnología son de porte grande (500 empleados o más). Una situación similar se observa en el sector de servicios, como muestra el cuadro 2.

Es necesario notar, sin embargo, que la encuesta PINTEC no incluye las empresas con menos de 10 empleados. De esta forma, dejan de ser contabilizadas microempresas que corresponden al perfil de varias *start-ups* y *spin offs* de nanotecnología surgidas a lo largo de la última década, identificadas en investigación desarrollada por Invernizzi (2012) y en una base de datos más actualizada elaborada por las autoras en la investigación en curso.¹¹

¹¹Proyecto Difusión de la nanotecnología en Brasil e implicaciones para el empleo.

Cuadro 3
 PORCENTAJE DE EMPRESAS INNOVADORAS QUE TIENEN ACTIVIDADES
 DE NANOTECNOLOGÍA EN RELACIÓN CON EL TOTAL
 DE INNOVADORAS (2009-2011)

| <i>Personas ocupadas</i> | <i>Industria</i> | <i>Electricidad y gas</i> | <i>Servicios seleccionados</i> |
|--------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Total | 2.3 | 1.9 | 0.2 |
| De 10 a 29 | 1.8 | 0.0 | 0.2 |
| De 30 a 49 | 1.9 | 0.0 | 0.0 |
| De 50 a 99 | 2.6 | 0.0 | 0.0 |
| De 100 a 249 | 3.1 | 0.0 | 0.0 |
| De 250 a 499 | 6.6 | 0.0 | 0.0 |
| Con 500 o más | 9.6 | 11.0 | 1.7 |

Fuente: Elaboración propia en base a IBGE (2013).

Los datos del cuadro 3 también muestran que, aunque la tasa de innovación sea significativamente mayor entre las empresas que mantienen actividades en nanotecnología, éstas representan una parcela aún muy reducida dentro del universo de las empresas innovadoras: apenas 2.3 por ciento de las industrias, 1.9 por ciento de las empresas del sector de electricidad y gas y 0.2 por ciento de las empresas del sector de servicios que innovaron entre 2009 y 2011, eran empresas cuyas actividades incluían nanotecnología. Aunque en términos absolutos, el número de 975 empresas actuando en nanotecnología sea significativo, dado que se trata de una tecnología emergente, la difusión de ésta en el sector productivo es aún muy incipiente.

En cuanto a la distribución de estas empresas por sector de actividad económica, como era de esperarse, la mayoría se concentra en el sector de la industria de transformación. De acuerdo con la PINTEC 2011, de las 975 empresas innovadoras que desarrollaron alguna actividad en nanotecnología, 956 (98 por ciento) eran de aquel sector; como se observa en el cuadro 4.

En lo que respecta a las actividades realizadas, llama la atención el hecho de que la mayoría de las empresas que realizaron innovaciones basadas en nanotecnología son usuarias finales (53 por ciento del total) o usuarias integradoras (30 por ciento) de esa tecnología, de acuerdo con la tipología utilizada por la PINTEC (IBGE, 2013: 27). La primera categoría se refiere a la compra o adquisición por la empresa de un producto acabado que emplea nanotecnología. La categoría usuaria integradora se refiere a la empresa que compra insumos o procesos nanotecnológicos para incorporar a bienes y servicios por ella producidos. Sólo una parcela minoritaria de empresas

Cuadro 4
EMPRESAS INNOVADORAS O CON PROYECTOS QUE LLEVARÁN
A CABO ACTIVIDADES EN LA NANOTECNOLOGÍA (2009-2011)

| <i>Sector de actividad económica</i> | <i>Total de innovadoras</i> | <i>Que realizarán actividades en nano</i> | <i>Innovadoras con actividades en nano</i> | |
|--------------------------------------|-----------------------------|---|--|----------|
| | | | <i>Empresas</i> | <i>%</i> |
| Industria extractiva | 458 | 10 | 7 | 1.5% |
| Industria de transformación | 41.012 | 1.107 | 956 | 2.3% |
| Electricidad y gas | 222 | 6 | 4 | 1.8% |
| Servicios seleccionados | 4.258 | 9 | 8 | 0.2% |

Fuente: Elaboración propia en base a IBGE (2013).

realiza actividades de investigación y desarrollo en el área (11 por ciento). En la categorización de la PINTEC, tales actividades envuelven investigación básica o aplicada, y desarrollo experimental de productos, insumos, técnicas o procesos nanotecnológicos, sea de forma autónoma o en cooperación con ICT. Finalmente, un grupo aún más reducido, produce, de hecho, nanotecnología (6 por ciento), esto es, produce o desarrolla técnicas de incorporación de insumos, productos o procesos nanotecnológicos (véase cuadro 5 y gráfica 3).

Cuadro 5
INNOVADORAS Y/O CON PROYECTOS Y QUE REALIZARÁN ACTIVIDADES
EN NANOTECNOLOGÍA POR MODO DE USO (2009-2011)

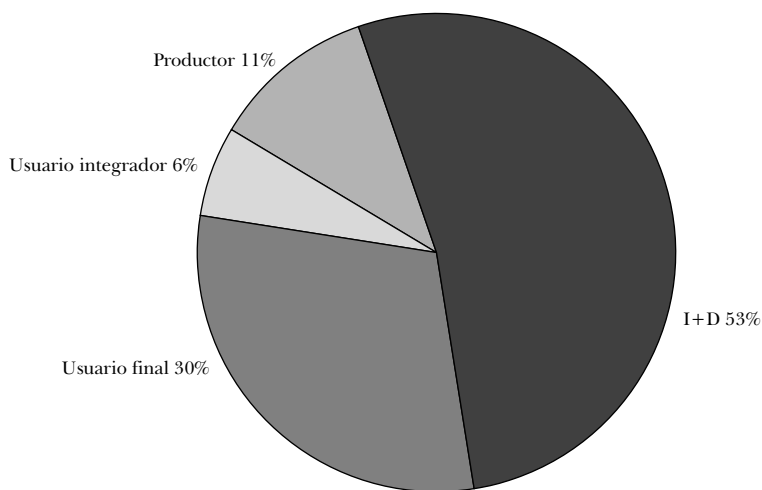
| <i>Empresas por sector</i> | <i>Usuario final</i> | <i>Usuario integrador</i> | <i>Productor</i> | <i>I+D</i> |
|------------------------------|----------------------|---------------------------|------------------|------------|
| Industrias extractivas | 1 | 1 | 1 | 5 |
| Industrias de transformación | 555 | 315 | 62 | 112 |
| Electricidad y gas | – | – | 2 | 4 |
| Servicios seleccionados | 7 | 1 | 1 | 2 |

Fuente: Elaboración propia con base en IBGE (2013).

La información disponible revela que la mitad de las empresas nacionales con actividades en nanotecnología han introducido productos o insumos nuevos en el mercado, pero no demuestran ninguna densidad de innovación una vez que operan mediante compras o comercialización de productos elaborados en las matrices. Ya la otra mitad realiza actividades de innovación

de diversa complejidad. Si tomamos como parámetro los análisis existentes sobre los impactos de la cyT en la productividad empresarial, como el realizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos OCDE (1992), podemos inferir que, si bien tanto la I+D interna como la adquisición de tecnología importada, tienen impactos positivos sobre la productividad de las empresas, la segunda actividad presenta un impacto positivo más significativo, siendo considerado el principal factor en los aumentos de productividad. Ello implica que las empresas innovadoras brasileñas que desarrollaron actividades en nanotecnología, al concentrarse en las actividades de menor riesgo y dinamismo, pueden presentar indicadores de productividad menor que sus competidoras que realizan un esfuerzo e I+D mayor.

Gráfica 3
DISTRIBUCIÓN DE LAS INNOVADORAS Y/O CON PROYECTOS Y QUE REALIZARÁN ACTIVIDADES EN NANOTECNOLOGÍA POR MODO DE USO (2009-2011)



Fuente: Elaboración propia con base en IBGE (2013).

En lo que se refiere al uso de recursos públicos para la realización de actividades de innovación, la PINTEC 2011 no presenta esta información con un recorte específico para las empresas con actividades en nanotecnología. Sin embargo, de acuerdo con Peixoto (2013), en la edición anterior de la encuesta, referente al periodo 2006-2008, de las 458 empresas innovadoras que realizaron actividades con nanotecnología en aquel periodo, 88 por

ciento (403) habían obtenido algún tipo de beneficio del Gobierno para sus actividades de innovación. Entre ellas, predominaban las empresas de menor porte (entre 10 y 29 personas ocupadas) y las de mayor porte (con 500 o más personas empleadas), con 47 (214) y 23 por ciento (106) de las empresas, respectivamente. El restante 30 por ciento está en las otras fajas de tamaño, especialmente en la de 100 y 499 personas ocupadas.

De acuerdo con el mismo autor, los instrumentos más utilizados por las empresas fueron el financiamiento a proyectos de I+D y de innovación tecnológica sin cooperación de ICT, utilizados por 27 por ciento (122) de las empresas, y el financiamiento para la compra de máquinas y equipos, utilizados por 24 por ciento (110) de las empresas. Los instrumentos menos utilizados fueron el aporte de capital de riesgo y las becas de las instituciones de apoyo a la CyT para la inserción de investigadores en las empresas, aprovechados por solamente 2 (8) y 4 por ciento (17) de las empresas, respectivamente. Estas informaciones merecen algunos comentarios adicionales.

Primero, cabe comentar sobre el uso de los incentivos fiscales previstos por la *Ley de Innovación* (10.973/2004) y, principalmente, por la Ley “do Bem” (núm. 11.196/2005). De acuerdo con Peixoto (2013), durante el periodo inmediato a la creación de estos instrumentos (2006-2008), este mecanismo de fomento fue usado por casi el 20 por ciento (88) de las empresas innovadoras con actividades en nanotecnología. Los incentivos fiscales son actualmente considerados como uno de los principales mecanismos de estímulo a la innovación en Brasil, pues comprenden otras actividades, además de I+D, y porque no exigen la cooperación con universidades, como es el caso en los Fondos Sectoriales. Tomando en cuenta que hubo un crecimiento expresivo de la renuncia fiscal del Gobierno federal resultante de las leyes de incentivo a la investigación, desarrollo y capacitación tecnológica —que pasó de R\$2.7 mil millones en 2006 para R\$7.2 mil millones en 2013, un crecimiento de 260 por ciento—, es altamente probable que su utilización por las empresas innovadoras con actividades en nanotecnología se haya ampliado desde entonces.

La información antes expuesta sobre las modalidades de innovación de las empresas que desarrollan actividades en nanotecnología permite apuntar, sin embargo, que un aumento del uso de las diversas fuentes de financiamiento por las empresas no necesariamente se traducirá en cambios en su comportamiento hacia las formas de innovación más dinámicas (y que comportan mayores riesgos), tales como la I+D y la producción de nanotecnología. Esta apreciación resulta del análisis del impacto de los incentivos fiscales en el comportamiento de las industrias innovadoras en

general. Para las empresas que ya son innovadoras, los incentivos fiscales son interesantes y a veces las estimulan a intensificar su *performance* de innovación. Pero han también generado un efecto de alteración de la estructura de costos de la innovación mediante la sustitución de parte de recursos propios por recursos no reembolsables. Asimismo, como muestran Calzolaio y Dathein (2012) en un análisis de la Ley “do Bem”, estos incentivos no han conseguido estimular a las empresas que no innovan a pasar a innovar, lo que también ha ocurrido en otros países con políticas similares (Link, 1996).

Otra cuestión a ser resaltada tiene que ver con la subvención económica, una modalidad significativamente utilizada por las empresas innovadoras con actividades en nanotecnología. El hecho de que las empresas se concentren en las formas de innovación que ofrecen menos riesgos puede estar relacionado con la propia forma de uso de este instrumento. Análisis comparativos del modelo brasileño frente al de otros países muestran que la subvención a la innovación practicada en Brasil tiene como criterio central para la determinación del monto del apoyo el porte de la empresa. Ello permite que inclusive proyectos de bajo riesgo tecnológico puedan recibir subvención de hasta 95 por ciento de su valor. En otros países, el valor subvencionado está directamente correlacionado con el grado de riesgo del emprendimiento. Al subsidiar proyectos de bajo riesgo, que las empresas podrían desarrollar con otras fuentes de recursos, este instrumento de fomento a la innovación corre el riesgo de influenciar la relación entre inversiones públicas y privadas de forma opuesta a la deseada (Andrade, 2009).

Consideraciones finales

El fomento gubernamental a la nanotecnología es relativamente reciente en Brasil. Estas acciones se caracterizaron, desde el origen, por una fuerte vocación hacia la innovación, como resultado del significativo cambio de concepción y estructura institucional de las políticas de CTyI operado en la década del 2000. A pesar de que hayan sido destinados a esta área emergente recursos significativos para el contexto nacional y latinoamericano, el fomento estuvo marcado por fuertes oscilaciones en la aplicación de recursos, lo que contrasta con la caracterización de la nanotecnología como área estratégica para el desarrollo de la competitividad del país.

Casi un millar de empresas que realizaron alguna actividad innovadora incluyendo nanotecnología, fueron contabilizadas por la encuesta de la PINTEC en el periodo 2009-2011, duplicando el número registrado en el

periodo 2006-2008, lo que revela que esta tecnología emergente comienza a difundirse en el sector productivo brasileño.

Aunque estas empresas presentan una tasa de innovación bastante superior a la registrada para el conjunto del sector productivo, el análisis realizado mostró que la mitad de estas empresas, denominadas usuarias finales de nanotecnología, no son *sticto-senso* innovadoras, sino que traen al mercado nacional productos innovadores producidos por terceros. La otra mitad incluye usuarios que integran nanotecnología en sus productos y procesos, que producen nanotecnología o que están realizando I+D. Aunque envuelven diversas complejidades de innovación, todas esas actividades son relevantes para la constitución de cadenas productivas de nanotecnología en el país. Sin embargo, desde el punto de vista del efecto esperado por los mecanismos de financiamiento a la innovación, constatamos un impacto bastante reducido para promover las actividades innovadoras más dinámicas, y que envuelven mayores riesgos, tales como la I+D y la producción de nanomateriales y nanodispositivos, realizada por apenas 17 por ciento del casi millar de empresas. Estas figuras tenderían a indicar que las trayectorias de innovación en nanotecnología pueden ser un poco más dinámicas, pero no se diferenciarían substancialmente de las tendencias más generales que prevalecen en el país.

Fuentes consultadas

- ANDRADE, A. Z. (2009). Estudo comparativo entre a subeção econômica à inovação operada pela FINEP e programas correlatos de subsídio em países desenvolvidos. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas (dissertação de mestrado).
- Brasil (2004). *Lei nº 10.973 de 02 de dezembro de 2004*. Brasília: Presidência da República, Casa Civil-Subchefia para assuntos jurídicos.
- _____. (2005). *Lei nº 11.196 de 21 de novembro de 2005*. Brasília: Presidência da República, Casa Civil-Subchefia para assuntos jurídicos.
- CALZOLAIO, A. E. y Dathein, R. (2012). *Políticas fiscais de incentivo à inovação: uma avaliação da Lei do Bem*. Texto para Discussão N° 15/2012, Departamento de Economia e Relações Internacionais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- IBGE (2007). *Pesquisa de Inovação Tecnológica 2005: notas técnicas*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- _____. (2010). *Pesquisa de Inovação Tecnológica 2008*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

- (2013). *Pesquisa de Inovação 2011*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- INVERNIZZI, N. (2012). Implications of nanotechnology for labor and employment. Assessing nanotechnology products in Brazil. In R. Parker & R. Appelbaum (Eds.), *Can emerging technologies make a difference in development?* (pp. 140-152). New York: Routledge.
- INVERNIZZI, N., Korbes, C. y Fuck, M.P. (2012). Política de nanotecnología en Brasil: A 10 años de las primeras redes. In G. Foladori, N. Invernizzi & E. Záyago (Eds.), *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina* (pp. 55-84). México: Porrúa.
- LINK, A. (1996). Fiscal Measures to Promote R&D and Innovation: Trends and Issues. In OCDE, *Fiscal Measures to Promote R&D and Innovation*, GD(96)165, Paris: OCDE.
- MCT (2006). Nanotecnologia. Investimentos, resultados e demandas. Coordenação Geral de Micro e Nanotecnologia. Brasília: MCT. Recuperado de http://www.mct.gov.br/upd_blob/0019/19536.pdf
- OCDE (1992). Technology and Economic Growth. In OCDE, *Technology and the Economy: the key relationships*. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development.
- Peixoto, F. J. M. (2013). *Nanotecnologia e Sistemas de Inovação: implicações para política de inovação no Brasil*. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- PLENTZ, F. y Fazzio, A. (2013). Considerações sobre o Programa Brasileiro de Nanotecnologia. *Ciência e Cultura* 65 (3), 23-27.
- SILVA, C. G. y Melo, L. C. P. (2001). *Ciência, Tecnologia e Inovação. Desafio para a sociedade brasileira. Livro Verde*. Brasília: Ministério de Ciência e Tecnologia.

Índice

PRESENTACIÓN

Guillermo Foladori, Noela Invernizzi, Edgar Záyago Lau 5

NANOTECNOLOGÍA Y LITIO, SU RELEVANCIA

EN LA POLÍTICA DE CTI DE BOLIVIA

Roberto del Barco Gamarra, Ebeliz Fuentes, Denisse Vargas

Rocío Villca, Marcelo Zenteno 11

Introducción 11

Ciencia y tecnología en Bolivia 12

El litio: una prioridad en la política de CTI 18

Las nanotecnologías resultan estratégicas
en la producción de baterías de litio 29

Conclusiones 34

Anexo 1 36

Anexo 2 37

Anexo 3 38

Anexo 4 39

Anexo 5 40

Fuentes consultadas 41

INVESTIGACIÓN, DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE NANOTECNOLOGÍAS

EN COSTA RICA: EL CASO MIPYME Y LANOTEC

José Roberto Vega-Baudrit, Santiago Nuñez-Corrales 45

Introducción 45

Nanotecnología y economías emergentes 46

Costa Rica: política pública y nanotecnología 49

Lanotec: aparición y desarrollo
de capacidades nacionales 52

MIPYMES Nano: del laboratorio al mercado 54

| | |
|---|-----|
| Conclusiones..... | 55 |
| Fuentes consultadas | 56 |
| | |
| LA CREACIÓN DE CONDICIONES PARA LA I+D | |
| EN NANOTECNOLOGÍA: EL CINQUIFIMA DE URUGUAY | |
| <i>Adriana Chiancone, Enrique Martínez Larrechea</i> | 63 |
| Introducción | 63 |
| Organización de la nanotecnología en Uruguay | |
| y la creación del Cinquifima | 65 |
| Financiamiento de la I+D en Uruguay | 68 |
| Discusión | 70 |
| Anexo..... | 73 |
| Fuentes consultadas | 79 |
| | |
| LA UTILIZACIÓN DE LA NANOPLATA EN LA | |
| PRODUCCIÓN ALIMENTICIA MUNDIAL Y BRASILEÑA: | |
| UNA MIRADA A PARTIR DE INVESTIGACIONES | |
| NANOTOXICOLÓGICAS | |
| <i>Wilson Engelmann, Andréa Aldrovandí, Raquel von Hohendorff</i> | 83 |
| Introducción | 83 |
| Nanotecnologías aplicadas a los alimentos | 85 |
| Primeros pasos en la regulación..... | 100 |
| Conclusión | 104 |
| Fuentes consultadas | 105 |
| | |
| POLÍTICAS DE INNOVACIÓN PARA LA TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO | |
| EN MÉXICO. LA EXPERIENCIA DE UNA EMPRESA DE GESTIÓN | |
| Y DESARROLLO DE NEGOCIOS CON NANOTECNOLOGÍA | |
| <i>Mónica Anzaldo, Pilar Montoya, Andrés Gómez</i> | 111 |
| Introducción | 111 |
| Financiamiento federal para la transferencia | |
| de conocimiento en nanotecnologías..... | 113 |
| Viretec Gestión y Desarrollo. La experiencia | |
| de una <i>spin-off</i> del centro del país en la | |
| transferencia de conocimiento | 118 |
| Valor agregado a la minería: el proyecto CuVito, | |
| camino largo a la transferencia de conocimiento | 121 |
| Reflexiones finales | 127 |
| Fuentes consultadas | 129 |

INNOVACIÓN Y TRADICIÓN: DINÁMICAS DE CONSTRUCCIÓN DE PERTINENCIA
 PARA UN DESARROLLO DE DESCONTAMINACIÓN DE AGUA
 BASADO EN NANOTECNOLOGÍAS EN COLOMBIA

Astrid Jaime, María Lucía Lizarazo,

| | |
|--|-----|
| <i>Constanza Pérez Martelo, Bernardo Herrera</i> | 131 |
| Introducción | 131 |
| Las redes glo/cales como multisitios de producción de conocimiento..... | 132 |
| Metodología | 135 |
| Un caso de construcción de pertinencia en nanotecnologías | 137 |
| Discusión y conclusiones | 146 |
| Agradecimientos..... | 148 |
| Fuentes consultadas | 148 |

NANOTECNOLOGÍA Y SISTEMA AGROINDUSTRIAL: APRENDIZAJES EN
 TORNO AL DESARROLLO DE TEXTILES FUNCIONALES EN ARGENTINA

Tomás Javier Carrozza, Susana Silvia Brieva.....153

| | |
|--|-----|
| La construcción de un textil repelente al mosquito transmisor del dengue..... | 153 |
| La perspectiva analítica de las nanociencias y nanotecnologías en el marco de los estudios sociales de la ciencia y tecnología | 154 |
| Los textiles repelentes y la salud pública | 157 |
| Del premio innovar a los estudios en la selva | 159 |
| Reflexiones finales | 174 |
| Fuentes consultadas | 175 |

INVENTARIO DE EMPRESAS NANOTECNOLÓGICAS EN MÉXICO

Edgar Záyago Lau, Guillermo Foladori, Liliana Villa Vázquez,

Richard P. Appelbaum, Eduardo Robles Belmont,

| | |
|---|-----|
| <i>Edgar Ramón Arteaga Figueroa, Rachel Parker</i> | 177 |
| Introducción | 177 |
| Inventarios de nanotecnología y la situación en México | 178 |
| Metodología | 183 |
| Resultados y discusión..... | 188 |
| Conclusiones..... | 196 |
| Fuentes consultadas | 197 |

PATENTES E INNOVACIÓN DE NANOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

Eduardo Robles Belmont, Guillermo Foladori,

Edgar Ramón Arteaga Figueroa, Richard Appelbaum,

| | |
|--|-----|
| <i>Edgar Záyago Lau, Rachel Parker</i> | 201 |
| Introducción | 201 |
| Las patentes en nanotecnología desde una perspectiva económica | 203 |
| Utilización de las patentes para el análisis económico mediante concordancia de códigos | 208 |
| Metodología | 213 |
| Análisis y resultados..... | 217 |
| Conclusiones..... | 224 |
| Anexo 1..... | 225 |
| Anexo 2..... | 226 |
| Anexo 3..... | 227 |
| Fuentes consultadas | 227 |

DIFUSIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA EN BRASIL.

ANÁLISIS PRELIMINAR A PARTIR DE LA ENCUESTA

DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA 2011

| | |
|---|-----|
| <i>Carolina Bagattoli, Noela Invernizzi</i> | 233 |
| Introducción | 233 |
| La nanotecnología en el marco de un nuevo modelo institucional para el estímulo a la innovación | 234 |
| Financiamiento a la innovación en nanotecnología..... | 238 |
| La nanotecnología en el sector productivo brasileño: análisis a partir de la PINTEC | 241 |
| Consideraciones finales..... | 248 |
| Fuentes consultadas | 249 |