

El Estado, la Industria, y la Universidad en el Desarrollo de Tecnologías Emergentes en México: el Caso de la Nanotecnología

Comunicación ALTEC 2009 n° 152

Eje temático: El triángulo de Sábato como motor de desarrollo territorial

Robles-Belmont, Eduardo.

PACTE PO, University of Grenoble, France.

Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad, ReLANS, México.

roblesbelmont@yahoo.fr

de Gortari-Rabiela, Rebeca.

Instituto de Investigaciones Sociales – UNAM, México.

rabiela@servidor.unam.mx

Vinck, Dominique.

PACTE PO, University of Grenoble, France.

dominique.vinck@upmf-grenoble.fr

Resumen

Con la emergencia de las nanociencias y nanotecnologías (NCT) se habla de una nueva revolución científica y tecnológica que tendrá implicaciones económicas, sociales y medioambientales. En el ámbito global, se están llevando a cabo diversas iniciativas nacionales y regionales para el desarrollo de estas nuevas ciencias y tecnologías. En la presente comunicación nos interesamos en el análisis de los proyectos de investigación aplicada en el área de la nanotecnología en México. Se trata de comprender los procesos de producción de conocimiento alrededor de estas nuevas tecnologías analizando los papeles de los diferentes sectores institucionales implicados (Gobierno, Academia e Industria. Este estudio se centra en análisis de dos proyectos tecnológicos en dos centros de investigación inmersos en contextos diferentes. El estudio se basa principalmente en una serie de entrevistas a los actores científicos y en visitas a los centros implicados en los dos proyectos analizados. Finalmente, por una parte, describimos los roles los tres sectores, donde el papel central es jugado por la academia. Por otra parte, sobre el lugar de la nanotecnología en las políticas de científica y tecnológica, vemos que se trata de políticas locales y no nacionales.

1. Introducción

A finales del siglo pasado e inicios del presente, la emergencia de las nanociencias y nanotecnologías (NCT) anunciaron importantes cambios en el sector científico y tecnológico. De hecho se habla de una nueva revolución tecnológica e industrial. En términos económicos, las expectativas de los productos comercializados que están

relacionados con las NCT han sido rebasadas (Lux Research, 2006). Estudios académicos en el área de la cienciometría han mostrado que a partir de la segunda mitad de la década de los noventa comenzó un aumento importante de la producción de nanociencias en Europa, Estados Unidos y Japón (Hullmann y Meyer, 2003; Kostoff *et al.*, 2007). Este crecimiento acentuado de las nanociencias también se ha observado en otros países como China (Guan y Ma, 2007), Corea del Sur (Kostoff *et al.*, 2008), Sudáfrica (Pouris, 2007), Brasil, Argentina y México (Kay y Shapira, 2008). Concerniente la organización de la ciencia, vemos que en países industrializados como Francia y los Países Bajos se han llevado a cabo iniciativas encaminadas a buscar la aglomeración de la investigación y las redes de colaboración científica de excelencia alrededor de las NCT (Robinson *et al.*, 2007).

En este contexto global, nuestra investigación esta enfocada en el caso de México, ya que se trata de un país en el cual las condiciones para la investigación están en desventaja frente a las de los países que llevan la delantera en el desarrollo mundial de las NCT. Este hecho se refleja en la falta de una iniciativa nacional para el desarrollo de las NCT en México, pero que a pesar de esta falta diversos proyectos de investigación en NCT están siendo desarrollados (Delgado, 2007; Foladori y Zayago, 2007). Partiendo de lo anterior, en otros trabajos hemos avanzado la pregunta sobre por qué se desarrollan NCT en México (Robles-Belmont y Vinck, 2008) y sobre cómo los científicos mexicanos logran llevar a cabo estos proyectos frente a una falta de infraestructura tecnológica (Robles-Belmont, 2008). En el presente texto, nos interesamos en el análisis del desarrollo de proyectos de investigación aplicada en el área de las NCT en México. Esto con el fin de avanzar elementos para la comprensión de los procesos sociales de la construcción de temáticas de investigación en esta área emergente. Para lo cual enfocamos nuestra atención en los papeles jugados por los diferentes sectores institucionales (Academia, Gobierno e Industria) implicados en dichos procesos. Para abordar lo anterior analizamos dos casos de éxito de innovación en nanotecnología en México; el primero es un proyecto de escalamiento de la fabricación de nanotubos de carbón y el segundo se trata de la concepción de un micro sensor electrónico para la industria metalúrgica.

La metodología de nuestra investigación se basa en una serie de encuentros y entrevistas semi-directas con los actores científicos implicados en estos proyectos, así como en el análisis de fuentes secundarias tales como reportes de actividades, sitios Web, y notas de divulgación científica. Cabe mencionar que esta investigación se inscribe en un proyecto de investigación a nivel doctoral, en el área de sociología industrial, consagrado al estudio de la emergencia de las nanociencias y nanotecnologías en México.

El presente texto se compone entonces de cuatro partes, en la primera evocamos los principales modelos teóricos que han sido propuestos en la literatura académica para el análisis de la producción de nuevos conocimientos. En la segunda parte introducimos el contexto de nuestro estudio y en la tercera parte analizamos dos estudios de caso de desarrollo de nanotecnología en México. Finalmente, en la cuarta parte, avanzamos algunas conclusiones.

2. Modelos de Análisis de la Producción de Conocimiento

En los estudios sociales de la tecnología y de la innovación se ha demostrado que los procesos para producción de conocimiento no responden a la explicación bajo el esquema del “modelo lineal”. En efecto, la producción y transferencia de tecnología e innovación son complejas y se trata de procesos sociales, que para comprenderlos hay que situarlos en sus contextos históricos, sociales y económicos, así como considerar la intervención de actores heterogéneos. Sobre este tema se han propuesto varios modelos para el análisis de estos procesos. Uno de éstos ha sido elaborado por Sábato y Botana (1971), modelo conocido bajo el nombre de “Triángulo de Sábato”. Según Sábato (1997), la inserción de tecnología en los procesos productivos supone la participación de diversos sectores de la sociedad que se pueden agrupar en lo que él llama la infraestructura técnica (centros de investigación, universidades, etc.), el gobierno y la estructura productiva (la industria). En este modelo, el gobierno juega un papel central en el sentido que es a través de sus instituciones que se formulan las políticas científicas, tecnológicas e industriales y que se movilizan los recursos económicos para el desarrollo y transferencia de la tecnología (Sábato y Botana, 1971; Sábato, 1997).

Otro modelo que comprende el análisis del papel de los tres sectores es el de “sistemas nacionales de innovación” (Lundvall, 1992; Edquist y Hommen, 1999). Este modelo de análisis se caracteriza por comprender al aprendizaje como un proceso participativo (tanto en los sistemas productivos y como en las organizaciones institucionales) y a la innovación como un proceso acumulativo, que esta condicionado por la interacción usuario – productor. Edquist y Hommen (1999) argumentan que este enfoque se centra en la comprensión del desarrollo no lineal del conocimiento basado en intercambios de información entre actores interdependientes y se caracteriza por privilegiar los asuntos relacionados con la demanda de conocimiento: la industria como receptores de la tecnología. Por otra parte, Lundvall (1992) señala que el concepto de sistema nacional de innovación supone la existencia del estado nación, ya que a través de los sistemas nacionales se ha apoyado y dirigido a los procesos de innovación y por lo tanto para su análisis es necesario tomar en cuenta los contextos nacionales donde han surgido.

El tercer modelo es el conocido como “la Triple Hélice” (Etzkowitz y Leydesdorf, 2000; Etzkowitz 2002 y 2008). Etzkowitz (2002) define a la Triple Hélice como el modelo que hace referencia a las múltiples relaciones recíprocas entre los sectores institucionales (público, privado y académico) en los diferentes puntos de los procesos de capitalización del conocimiento. La Triple Hélice se diferencia de los dos modelos anteriores principalmente por considerar que la universidad puede desempeñar un papel más importante en la innovación en las sociedades cada vez más basadas en el conocimiento (Etzkowitz y Leydesdorf, 2000). Además, Etzkowitz (2008) argumenta que la formación de la Triple Hélice pasa por la formación de relaciones de colaboración entre las esferas institucionales más involucradas en la innovación y enseguida por un cambio de papeles entre los actores, lo cual puede llevar a una transformación interna de las instituciones.

En lo que concierne las experiencias del modelo de la Triple Hélice en México, para el análisis de algunos estudios de caso en la región del Bajío en el área de ciencia de

materiales, biotecnología y telecomunicaciones, Casas et al. (2000) proponen la noción de “espacios de conocimiento” para designar los espacios geográficos regionales donde se ha acumulado conocimiento subutilizado en áreas específicas pertinentes para el desarrollo económico o social. Acumulación que favorece la creación de redes de conocimiento y por lo tanto constituye un elemento clave para la creación de ambientes de innovación propicios para el desarrollo de experiencias de la Triple Hélice.

Es importante señalar que un punto en común de los tres modelos antes mencionado es que éstos pueden ser útiles para la definición de políticas de desarrollo científico y tecnológico en el ámbito nacional o regional.

3. Contexto de la nanotecnología en México

A partir de un enfoque regional, Casa y Luna (2001) han reportado que las relaciones Industria – Academia son mas estrechas y numerosas en el Norte del país, mientras que en la región del Bajío¹ las relaciones de este tipo también existen pero son menos numerosas y en la zona centro y sur del país estas relaciones son poco desarrolladas. Sobre el desarrollo de las NCT, durante nuestra encuesta hemos encontrado el mismo panorama².

El interés de empresas nacionales e internacionales en la emergencia de las NCT en México ya ha sido reportado en trabajos académicos y reportes sobre las actividades de este campo en México (Mendoza-Urbe et Rodríguez-López, 2007, PECyT, 2002). La empresa “Industrias Peñoles” es un ejemplo de esto, ya que cuenta con un centro de investigación que desarrolla proyectos sobre estudios de nanopartículas de plata en colaboración con centros de investigación y universidades mexicanos. Otro ejemplo que refleja el interés de la industria es la participación de diez empresas privadas en el “consorcio para proyectos de nanotecnología”, iniciativa creada en 2004 con el apoyo del CONACYT en la cual participan varios centros de investigación y universidades mexicanos, así como la Universidad de Texas en Austin y el Paso (CIMAV, 2005). Un tercer ejemplo, es la participación de representantes de la industria en foros sobre las NCT en México, tal es el caso de la conferencia NanoMex'08 donde se organizaron dos “mesas empresariales”. A pesar de estas muestras de interés de la industria en el desarrollo de las NST en México, los casos de acercamiento entre la industria y la universidad que desembocan en verdaderos proyectos e investigación y de innovación son poco numerosos.

El interés de la industria para colaborar con la universidad puede resumirse generalmente en la solución de problemas tecnológicos puntuales y en la formación de recursos humanos. La solución de problemas tecnológicos puede fundarse sobre

¹ El Bajío comprende los estados de Michoacán, Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí.

² Durante nuestra encuesta que comenzó a inicios de 2008 hemos visitado y entrevistado investigadores de la UANL, del CIMAV, del CCyN-UNAM, de la UABC y del CICESE en el norte del país. Así como del CINVESTAV-Qro, del IPICYT, de la UASLP, de la UAGto y del CIO en la zona del Bajío. Y en la zona del centro y sur del país hemos entrevistado investigadores de la BUAP, del INAOE, de la UDLA, de la Universidad Veracruzana, del IPN, de la UNAM (IIM, IF, FQ, CCADET), del IMP, y de la UAM.

dos tipos de actividades: la utilización de los instrumentos científicos para efectuar pruebas o medidas destinadas al control de calidad de productos, y la realización de proyectos de investigación aplicada en el sentido amplio del término.

Durante nuestra encuesta la mayoría de los pocos proyectos de investigación desarrollados en colaboración con la industria que hemos identificado son en el área de Materiales Avanzados. El origen de estos proyectos se puede caracterizar como asimétrico en el sentido que algunos son de origen puramente académico (surgen de una problemática científica), y suscitan enseguida el interés y la adhesión de la industria, mientras que otros proyectos son emanados directamente de necesidades de la industria. En este segundo caso, la industria entra en contacto con el centro de investigación con el fin de encontrar una solución a un problema tecnológico en específico, dando así origen a un proyecto de investigación que la industria financia (aunque en la mayoría de los casos el financiamiento de los proyectos se hace con el CONACYT).

Para ilustrar las participaciones de los diferentes actores en el desarrollo de las NCT en México enseguida vamos a analizar dos casos de éxito de proyectos de innovación: uno en materiales avanzados y el otro en microelectrónica (donde también se movilizaron investigadores en materiales avanzados). Es evidente que para la selección de estos estudios de caso la condición *sine qua non* es la participación del Estado, de la Academia y de la Industria.

4. CIMAV: un proyecto originado del lado de la oferta

Nuestro primer estudio de caso concierne un proyecto de investigación aplicada en el área de nanotecnología que se está desarrollando en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). Antes de adentrarnos en nuestro estudio de caso, creemos que es conveniente detallar el contexto histórico y social en el cual se desarrolló. El CIMAV fue creado en 1994 en la ciudad de Chihuahua (al Norte de México). La iniciativa de la creación de este centro tuvo sus orígenes en el mundo académico a inicios de la década de los 90. La idea surge de un investigador de la UNAM que consiste en construir un centro de investigación en materiales dedicado al área de catálisis. Sin embargo, la creación de este centro de investigación logró concretizarse a través de intereses externos a la academia. En efecto, paralelamente al avance del proyecto de un centro de materiales impulsado por académicos, en 1992, en el Estado de Chihuahua un cambio en el poder político pone en plaza una estrategia de planeación para el desarrollo económico. Es entonces una compañía de asesoría extranjera quien efectúa un estudio de capacidades y necesidades productivas en la región de Chihuahua. El campo de los materiales es identificado como estratégico en este estudio y se propone la creación de un centro de investigación en materiales para responder a la demanda del sector productivo de esta área en la región. Más tarde, a inicios de 1994, la Secretaría de Desarrollo Económico del Estado de Chihuahua entra en contacto con el CONACYT con el fin de tener un apoyo para la creación del centro. Es entonces a finales de 1994 que el CIMAV es oficialmente creado con la participación del Gobierno Federal (vía el CONACYT), el Gobierno del Estado de Chihuahua (vía la Secretaría de Desarrollo

Economito de Chihuahua) y el Sector Productivo (representado por agentes locales de la CANACINTRA³. Cabe mencionar que el aporte académico al centro es atribuido a los investigadores de la UNAM (sector académico), de quienes como ya dijimos nació la idea del centro en materiales.

Actualmente el CIMAV es parte de la lista de centros de investigación públicos del CONACYT. Los cuales son centros o institutos de investigación situados al exterior de la capital mexicana con el fin de descentralizar las actividades de investigación y que tienen como principal objetivo desarrollar investigación para la solución de problemas con impacto social y económico a nivel local. El CIMAV cuenta con dos unidades, la de Chihuahua y otra en Monterrey, que fue inaugurada en 2007 en el PIIT con la misión de efectuar investigación en nanotecnología y buscar la transferencia de ésta al sector productivo. La investigación se desarrolla sobre tres líneas de investigación⁴ que reposan en dos programas académicos que son nanotecnología y producción de hidrogeno y celdas de combustible. Los investigadores y estudiantes del CIMAV están organizados en cuatro departamentos: física de materiales, química de materiales, medio ambiente y energía e informática.

La relación con la industria es una de las características del CIMAV, desde su creación hasta hoy en día representantes de la industria están presentes en el órgano de gobierno del centro. Sobre los proyectos de investigación con la industria, no sólo estos ocupan un lugar importante en las actividades del centro, sino que también en su producción de NCT (en 2006, de los 51 proyectos de investigación en desarrollo con la industria, 31 están relacionados con las NCT).

El primer caso que analizaremos es un proyecto de concepción de una máquina para el escalamiento de la fabricación nanotubos de carbón. Los nanotubos de carbón fueron descubiertos a mediados de los 90 y su caracterización ha sido posible gracias a la utilización de microscopios de barrido electrónico y de tonelaje atómico. Actualmente, la fabricación (o síntesis) de los nanotubos de carbón es bien conocida en el CIMAV, así como en muchos otros laboratorios de materiales avanzados. De hecho, ahora es difícil imaginar un laboratorio de materiales avanzados que no haya experimentado la fabricación de nanotubos de carbón.

La idea de experimentar con la fabricación de nanotubos de carbón en el CIMAV nace, según un investigador entrevistado, del hecho que se dieron cuenta a un momento dado en la literatura académica que con la infraestructura disponible en el CIMAV, ellos podían fabricar nanotubos de carbón. Viendo por otra parte las múltiples aplicaciones de los nanotubos para mejorar las propiedades de materiales, un grupo de investigadores decidió entonces lanzarse en la fabricación de nanotubos de carbón con el objetivo principal de ser, por un lado, autosuficientes en la disponibilidad de los nanotubos, ya que éstos eran cada vez más demandados por los investigadores del centro y representan gastos importantes. Y por otro lado también se buscaron posibles aplicaciones en la tecnología de materiales. Se comenzaron a hacer investigaciones para desarrollar sensores con los nanotubos de carbón y actualmente se desarrolla investigación básica sobre la incorporación de

³ CANACINTRA: Cámara nacional de la industria de transformación.

⁴ Física de Materiales, Química de Materiales y Medio Ambiente y Energía.

nanotubos en materiales cerámicos. Los resultados no tardaron en llegar, pues se han publicado artículos donde se proponen métodos de síntesis de nanotubos y se ha encontrado aplicaciones concretas. Por ejemplo, el CIMAV cuenta con una patente basada en la mejora de propiedades mecánicas del aluminio dopado con nanotubos de carbón, patente que por cierto ha sido transferida a la industria. Poco tiempo después se logró montar un primer dispositivo que permitía la fabricación diaria de 3 gramos de nanotubos de carbón. Cantidad que era suficiente para cubrir la demanda de la investigación en el centro. Más tarde, el Director del CIMAV entró en contacto con una industria que le expresó su necesidad de grandes cantidades de nanotubos de carbón para efectuar pruebas en su planta de producción. El Director encarga entonces a los investigadores de mejorar el sistema de producción, siendo el nuevo objetivo producir 1kg de nanotubos de carbón en doce semanas, así como bajar los costos de producción.

Para lograr la misión que les ha sido encargada, los investigadores del CIMAV se asociaron con un centro de ingeniería y de innovación, para tener el apoyo de ingenieros en procesos de fabricación y concepción de maquinaria. Al inicio del proyecto el objetivo era entonces producir nanotubos a gran escala, bajar costos de producción y un tercer elemento fue el diámetro de los nanotubos. En ese entonces, los nanotubos producidos por el CIMAV eran de 80nm de diámetro, pero las propiedades de los nanotubos cambian con el tamaño de estos, es decir, si logran nanotubos con diámetros más pequeños estos tendrán un valor agregado más alto. Para controlar el diámetro de los nanotubos se modifican las variables de fabricación de los nanotubos (temperatura, pureza de insumos, etc.). Finalmente, con el conocimiento de los investigadores del CIMAV en la fabricación de nanotubos y el conocimiento de los Ingenieros del CIDESI en la concepción de maquinas, se logró hacer una maquina prototipo que permite fabricar 1kg de nanotubos de carbón en 56 días, con diámetros de hasta 20nm y a un costo de alrededor de 10mil pesos mexicanos por cada kilogramo. En el 2008, un segundo prototipo se comenzó a instalar en la unidad del CIMAV en Monterrey, ya que la industria interesada en la fabricación de nanotubos se encuentra situada en esa ciudad. Además, hoy en día los investigadores del CIMAV trabajan en la mejora de la técnica de fabricación de los nanotubos con el fin bajar aún más los costos de fabricación para poder competir en el mercado internacional.

Sobre el financiamiento del proyecto, las fuentes de éste han provenido de tres partes: del Gobierno Federal (vía el CONACYT), del Gobierno del Estado de Chihuahua (vía los proyectos FOMIX con el CONACYT) y de la industria. Al inicio las primeras investigaciones fueron financiadas por el CONACYT en el marco de proyectos de investigación básica del CONACYT. Más tarde, cuando se propuso un primer prototipo para fabricar nanotubos de carbón en grandes cantidades con vista de cubrir futuras demandas de la industria, el Gobierno del Estado de Chihuahua entró en la escena financiando en conjunto con el Gobierno Federal. Finalmente, viendo los resultados positivos un industrial se involucro también en el proyecto para montar una planta piloto en la ciudad de Monterrey.

Este estudio de caso muestra cuales han sido los papeles de la Academia, del Estado y de la Industria en el desarrollo de un proyecto de innovación que tuvo sus

orígenes en una demanda de la academia, y en el cual el catalizador del desarrollo del proyecto fue una demanda de la industria. En este caso el aporte de la academia no fue sólo el conocimiento acumulado en ciencia de materiales, sino que también fue la gestión del proyecto en el sentido amplio del término, ya que el CIMAV ha sido el centro a todo lo largo del proyecto. Esto al movilizar sus relaciones con otros centros de investigación y buscar el financiamiento con los gobiernos local y nacional. Los papeles del Estado y la Industria se limitan al financiamiento del proyecto, siendo la parte del Estado a nivel local la más importante.

5. MICRONA: un proyecto co-definido

Nuestro segundo estudio de caso es un proyecto desarrollado en el Centro de Micro y Nanotecnología (MICRONA) de la Universidad Veracruzana. De la misma forma que hicimos con el primer estudio de caso, abordaremos primero el contexto del centro de investigación antes de detallar el proyecto en cuestión.

MICRONA es un centro de investigación que fue creado en 2005 en la Universidad Veracruzana. Los orígenes de MICRONA remontan a sólo tres años atrás. En 2002, el actual director de este centro, que era profesor desde hace un año en la universidad, respondió a la convocatoria de la FUMEC para la “Creación de diseño de MEMS”⁵. Después de una serie de reuniones con la FUMEC, los otras universidades o centros candidatos y varios especialistas en MEMS de la Universidad de Texas, en la facultad de ingeniería de la Universidad Veracruzana se fundó uno de los primeros siete Centros de Diseño de MEMS, a finales de 2003. Posteriormente, en 2005, este centro de diseño de MEMS fue el anfitrión de la “Segunda reunión Ibero-americana de Tecnología MEMS” con el fin de promover al nuevo centro. Ese mismo año hubo un cambio en la Rectoría de la Universidad Veracruzana y el recién Rector fue invitado a la inauguración del evento. Convencido de la pertinencia de impulsar el desarrollo de la tecnología MEMS, el Rector de la Universidad decide apoyar la expansión del centro de MEMS autorizando la creación de cinco puestos para investigadores.

Paralelamente a lo anterior, el Director del centro había entrado en contacto con la industria local en busca de oportunidades de proyectos de investigación aplicada. Es a finales de 2005 que el Director del centro logra entonces formalizar el primer proyecto de investigación en tecnología MEMS del centro con una empresa local que fabrica tubos metálicos para la extracción de hidrocarburos. Finalmente, el proyecto con la industria y la llegada de nuevos investigadores permitieron que el centro creciera en términos de personal y de líneas de investigación, hechos que favorecieron en 2005 la creación oficialmente de MICRONA.

Sobre el financiamiento para la creación de este centro de investigación, la FUMEC y la Secretaría de Economía han jugado un papel importante en el inicio. Mas tarde, el apoyo de la Universidad de Veracruz y el primer proyecto con la industria permitieron

⁵ La iniciativa de la creación de centros de diseño de MEMS (Sistemas Micro Electro-Mecánicos) es una iniciativa de la Fundación México – Estado Unidos por la Ciencia (FUMEC), apoyada económicamente por la Secretaría de Economía, que tiene como principal objetivo la creación de una red de centros de diseño MEMS en todo el país.

la expansión del centro al asegurar los gastos de funcionamiento del centro, por parte de la Universidad, y la compra de instrumentos científicos, por parte del proyecto con la industria. Por otra parte, el Gobierno del Estado de Veracruz ha también participado en la formación de MICRONA a través del financiamiento de un proyecto para consolidar el centro de diseño MEMS. Actualmente, MICRONA cuenta con once investigadores organizados en tres grupos de investigación que desarrollan investigación en a) Micro sensores y circuitos integrados ASIC, b) nanotecnología y materiales avanzados, y c) tecnología MEMS. La mayoría de los proyectos de investigación desarrollados son en investigación básica, sin embargo, un segundo proyecto en micro electrónica se desarrolla en estos momentos en colaboración con una compañía trasnacional fabricante de microprocesadores.

Sobre el proyecto en tecnología MEMS que mencionamos unas líneas más arriba, éste fue el resultado de una serie de reuniones entre investigadores de MICRONA e ingenieros de la industria productora de tubos metálicos situada en la misma región. El primer acercamiento de esta relación fue iniciativa del Director de MICRONA, quien optó por la estrategia para obtener proyectos con la industria, de no esperar a que ésta se acerque a la universidad, sino de ir a tocar las puertas de la industria ofreciendo las capacidades del centro para resolver problemas con la tecnología MEMS. Después de una serie de reuniones durante las cuales los investigadores de MICRONA presentaron sus capacidades en conocimientos y la industria expuso sus problemas específicos, se definió un proyecto de investigación aplicada. Se trata de la concepción de un micro sensor para monitorear el campo magnético durante el proceso de fabricación de tubos de acero sin costura para la extracción de petróleo. El problema de la industria era que con frecuencia recibían quejas de los clientes porque los tubos presentaban fallas al momento de ser ensamblados por soldadura, fallas debidas al campo magnético. La raíz del problema radicaba en la falta de control del campo magnético creado en los tubos durante su fabricación.

Del lado de MICRONA, parte de los conocimientos de los investigadores es precisamente la medición de campos magnéticos y la concepción de dispositivos microelectrónicos. Partiendo de estas bases fue entonces definido el proyecto. Sin embargo, sobre la marcha del proyecto los investigadores de MICRONA comprendieron que el éxito del proyecto no se reducía a la concepción de un sensor magnético que sería entregado a la industria, sino que era necesario extender el proyecto hacia el desarrollo de todo el sistema de monitoreo. Sistema que va desde el sensor que detecta y mide el campo magnético hasta el programa informático que descifra la señal del sensor y muestra la magnitud del campo magnético en un monitor a los operadores de la línea de fabricación de tubos. Por este motivo y por los límites de tratarse de un primer proyecto de investigación con la industria, MICRONA constituyó otros proyectos de investigación que fueron enviados a instituciones del gobierno para su financiamiento. Enseguida, dos proyectos fueron aceptados y financiados. Uno por la Secretaría de Economía y la FUMEC en el marco de proyectos en tecnología MEMS y el segundo por la Secretaría de Educación Pública en el marco de proyectos PROMEP.

Finalmente, durante nuestra encuesta, el sistema de monitoreo de campo magnético en la industria de fabricación de tubos estaba siendo probado en la planta de

producción. Los resultados del proyecto no sólo fue el sistema de monitoreo, sino que también se hicieron publicaciones científicas, comunicaciones en eventos académicos, y se dirigieron tesis profesionales de estudiantes en ingeniería.

Este segundo estudio de caso muestra otro ejemplo de un proyecto de investigación y de la transferencia de tecnología hacia el sector productivo, en el cual vemos la participación del Gobierno, la Academia y la Industria. En este segundo caso vemos que también ha sido la academia el actor central en el proceso de transferencia de tecnología. El papel del gobierno y la industria ha sido de apoyar económicamente el proyecto.

6. Conclusión

En el presente texto hemos abordado dos estudios de caso que intentan ilustrar los papeles jugados por el Gobierno, la Universidad y la Industria en el desarrollo y transferencia de nanotecnología en México. A pesar de que los dos estudios de caso abordados se han desarrollado en contextos diferentes, vemos que los papeles jugados por estos tres sectores no presentan diferencias importantes de un caso al otro.

Primero, vemos que en los dos estudios de caso el papel central ha sido ocupado por actores de la academia. Esto no sólo como el sector productor de nuevos conocimientos, sino que la academia es también el actor que asegura la gestión del proyecto desde la identificación del problema hasta la aplicación de los resultados, pasando por la búsqueda de financiamiento para lo cual ha sido necesario movilizar otros recursos como las relaciones laterales ya existentes.

Sobre el papel del Gobierno, Castells (1996) ya ha señalado que éste puede jugar un papel importante en el proceso de desarrollo tecnológico de un país que ha tomado retraso. Esto a través del apoyo económico, por una parte, y de la creación de políticas fiscales, de desarrollo industrial y en ciencia y tecnología, por otra parte. En nuestros estudios de caso, hemos visto que el papel principal del Gobierno se reduce al apoyo económico a los procesos de desarrollo tecnológico. Ciertamente que en nuestro segundo estudio de caso, la creación de MICRONA se debe en parte al apoyo del Gobierno Federal al financiar la iniciativa de la FUMEC que se basa sobre una estrategia de desarrollo de una tecnología en particular, sin embargo hasta el momento, con los datos que hemos recolectado en nuestra encuesta, no podemos asegurar que esto obedece a una política nacional por el desarrollo de tecnologías MEMS en el país. Por otra, la forma como se canalizaron los apoyos de los gobiernos estatales en ambos estudios de caso sugiere que puede calificarse de políticas locales o regionales, ya que en ambos casos los Gobiernos estatales han financiado parcialmente otros proyectos en nanotecnología (la otra parte es financiada por el CONACYT), siendo además esta área especificada como prioritaria en las convocatorias para proyectos de investigación (Chihuahua en 2006 y 2005 y Veracruz en 2006 y 2007)⁶.

⁶ Fuente: resultados de las convocatorias de Fondos Mixtos del CONACYT, http://www.conacyt.mx/Fondos/Mixtos/Convocatoria_FondosMixtos.html

Concerniente a la industria, nuestro estudio confirma que en México las relaciones de ésta con la academia, que se basan en la capitalización del conocimiento para la solución de problemas tecnológicos, son aún incipientes.

Finalmente, frente a los modelos de producción de conocimiento, por las razones que ya hemos mencionado, nuestros estudios de caso no se imbrican con el Triángulo de Sábato ni con el de Sistemas Nacionales de Innovación. Con respecto al tercer modelo, el de la Triple Hélice, nuestra investigación ha puesto en evidencia la existencia o la emergencia de algunas características de este modelo, tales como el papel central de la Academia (lado de la oferta), el establecimiento de relaciones laterales y después trilaterales, así como el apoyo de los poderes públicos locales o regionales (gobiernos estatales). Además, el caso del CIMAV confirma que la noción de espacios de conocimiento nos puede servir para entender los procesos de producción de tecnología. No obstante, para el caso de MICRONA en el cual la estructuración del centro se debe en parte a un proyecto de innovación, la noción de “espacio de conocimiento” no encaja completamente. Esto por tratarse de un centro de reciente creación que se encuentra en un contexto donde la investigación en NCT es prácticamente embrionaria (en el sentido que no existe un antecedente de acumulación de conocimientos en el área de materiales y microelectrónica en la región de Veracruz). Sin embargo, otros elementos característicos de los espacios de conocimiento tales como el establecimiento de relaciones laterales, la movilización de redes de conocimiento y las implicaciones de los tres sectores en el proceso de innovación han jugado un papel importante en la estructuración de la tecnología producida en MICRONA.

Referencias

Casas R., de Gortari R., y Santos M. J., The building of knowledge spaces in Mexico: a regional approach to networking, *Research Policy*, vol. 29, 225-241, 2000.

Castells, M., *La société en réseaux. L'ère de l'information*, Paris : Fayard, 1998.

De Gortari, R., Las asociaciones empresariales y la construcción de redes de conocimiento, in Casas, R. (coord.), *La formación de redes de conocimiento: Una perspectiva regional desde México*, ed. Anthropos / IIS-UNAM, pp 298-353, 2001.

Edquist, C., y Hommen, L., Systems of innovation: theory and policy for demand side, *Technology In Society*, vol. 21, pp. 63-79, 1999.

Etzkowitz, H. y Leydesdorff, L., The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations, *Research Policy*, vol. 29, pp109–123, 2000.

Etzkowitz, H., *the Triple Helix of University-Industry-Government. Implications for Policy and Evaluation*, WP 2002-11, Institutet för studier av utbildning och forskning, www.sister.nu, 2002.

Etzkowitz, H., *The Triple Helix. University-Industry-Government Innovation in Action*, Routledge, New York, 2008.

Gaffet, E., Nanomatériaux : différentes voies de synthèse, propriétés, applications et marchés, *Cahiers Droit, Science & Technologies*, CNRS Editions, N° 1, pp17-24, 2008.

Guan, J., y Ma, N., China's emerging presence in nanoscience and nanotechnology, *Research Policy*, 2007.

Hullmann, A., y Meyer, M., Publications and patents in nanotechnology: An overview of previous studies and the state of the art, *Scientometrics*, Vol. 58, No. 3, pp 507-527, 2003.

Kay, L. y Shapira, P., Developing nanotechnology in Latin America, *J Nanopart Res*, 2008.

Kostoff, R. N., Barth R. B., y Lau C. G. Y., Relation of seminal nanotechnology document production to total nanotechnology document production – South Korea, *Scientometrics*, Vol. 76, No. 1, pp 43-67, 2008.

Kostoff, R. N., Koytecheff, R. G., y Lau C. G. Y., Global nanotechnology research metrics, *Scientometrics*, Vol. 70, No. 3, pp 565-601, 2007.

Lundvall, B.A., *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Printer, London, 1992.

Lux Research, *The Nanotech Report*, 4th edition (versión resumida), 2006.

Manoharan M. Research on the frontiers of materials science: The impact of nanotechnology on new material development. *Technology in Society*, 2008.

Pouris, A., Nanoscale research in South Africa : A mapping exercise based on scientometrics, *Scientometrics*, Vol. 70, No. 3, pp 541-553, 2007.

Robinson, D.K.R. et al., Technological agglomeration and the emergence of clusters and networks in nanotechnology, *Research Policy*, 2007.

Robles-Belmont, E., Las redes científicas como respuesta a la emergencia de las nanociencias y nanotecnologías, VII Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología - ESOCITE, Rio de Janeiro, Mayo 2008.

Robles-Belmont, E., y Vinck, D., What responds research in the field of nanoscience and nanotechnology in Mexico?, Paper presented in the Prime-Latin America Conference at Mexico City, September 24-26 2008, 2008.

Sábato, J.A., et Botana, N., La science, la technique et l'avenir de l'Amérique latine: analyse et stratégie, *Tiers-Monde*, 1971, Vol. 12, No. 47, pp. 579 – 594, 1971.

Sábato, J.A., Bases para un régimen de tecnología, *REDES*, vol. IV, No. 10, Octubre 1997, pp. 117-153, 1997.