



HAL
open science

Las Fundaciones en el desarrollo de tecnologías emergentes: desarrollo de los MEMS en México

Eduardo Robles Belmont

► **To cite this version:**

Eduardo Robles Belmont. Las Fundaciones en el desarrollo de tecnologías emergentes: desarrollo de los MEMS en México. VIII Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y Tecnología, Jul 2010, Buenos Aires, Argentina. pp.n/a. halshs-00507810

HAL Id: halshs-00507810

<https://shs.hal.science/halshs-00507810>

Submitted on 1 Aug 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Las Fundaciones en el desarrollo de tecnologías emergentes: desarrollo de los MEMS en México

(Artículo presentado en ESOCITE 2010, Buenos Aires, Argentina)

Eduardo, Robles-Belmont

PACTE Politique - Organisations, Université de Grenoble, France.

roblesbelmont@yahoo.fr

Palabras clave: tecnologías emergentes, Fundaciones filantrópicas, Producción, difusión y uso de nuevos conocimientos.

Resumen:

Los Sistemas Microelectromecánicos (MEMS) son una tecnología que actualmente es presente en muchos productos en el mercado. En México el desarrollo de esta tecnología es muy reciente, data de inicios esta década, y en la emergencia de esta tecnología la Fundación México – Estados Unidos por la Ciencia ha jugado un papel primordial para la instalación y difusión de los MEMS en este país. En este artículo analizamos algunas iniciativas encaminadas a la instalación de infraestructura científica y tecnológica, y avanzamos algunos elementos para evidenciar la importancia de las acciones de las Fundaciones filantrópicas en el desarrollo científico y en el cambio tecnológico. Los resultados pretenden, de un lado, ser una aportación a los estudios sobre las Fundaciones filantrópicas en el desarrollo de la ciencia y la tecnología y, por otro lado, señalar la pertinencia de tomar en cuenta este tipo de actores en los estudios sociales de la ciencia.

Résumé:

Les Systèmes Microélectromécaniques (MEMS) sont une technologie qu'aujourd'hui nous trouvons présente dans beaucoup des produits dans le marché. Au Mexique, le développement de cette technologie est très récent, il a commencé au début de ce siècle. Dans l'émergence de cette technologie au Mexique, la Fondation Mexique Etats-Unis pour la Science (FUMEC) a joué un rôle central dans l'installation et la diffusion des MEMS dans ce pays. Dans ce texte, nous analysons quelques initiatives pour l'installation d'infrastructure scientifique et technologique, et nous avançons également quelques éléments pour, d'une part, mettre en évidence l'importance des actions des Fondations Philanthropiques dans le développement de la science et la technologie et, d'autre part, signaler la pertinence de prendre en compte ce type d'acteurs dans les études sociales de la science.

Introducción

En los estudios sociales de la ciencia, la tecnología y la innovación se han propuesto varios modelos para estudiar y comprender los procesos de cambio tecnológico, así como la producción y aplicación de nuevos conocimientos. Los enfoques teóricos más populares en América latina son el de los “Sistemas de Innovación” (Edquist y Hommen, 1999; Lundvall, 1992), la “nueva producción del conocimiento” (Gibbons *et al.*, 1996), la “triple hélice” (Leydesdorff y Etzkowitz, 1996; Etzkowitz, 2008) y el

“Triángulo de Sábado” (Sábado & Botana, 1971; Sábado, 1997). Estos y otros modelos teóricos coinciden en que el análisis se enfoca sobre las interacciones entre los actores de tres sectores involucrados en estos procesos (Hessels et van Lente, 2008): la universidad, la industria y el gobierno.

A lo largo de un estudio sobre el desarrollo de las micro y nanotecnologías (MNT) en México¹ se ha llevado a cabo una serie de observaciones y encuestas en diversos laboratorios y centros de investigación en este país, así como en foros académicos entorno a las MNT. En este estudio hemos caracterizado las relaciones de los tres sectores mencionados anteriormente y hemos encontrado que los enfoques teóricos sobre los cambios tecnológicos contrastan con nuestras observaciones (Robles et al., 2009). Esto nos ha llevado a una insatisfacción sobre estos enfoques, ya que hemos identificado que los roles de los actores descritos en los modelos teóricos no corresponden totalmente a los efectuados por los actores. Por ejemplo, los roles que se espera que el Gobierno lleve a cabo son los de regular, de dirigir y de financiar, esto a través de las instituciones gubernamentales que aplican las políticas de ciencia y tecnología (PCT), políticas que determinan la dirección a seguir en acorde con otras políticas ligadas al desarrollo económico y social. Sin embargo, se ha mencionado que el rol de dirigir o marcar una PCT para el campo de las MNT no ha sido de forma explícita parte de la política de desarrollo en México. Esto deja, por lo tanto, un vacío en los roles que se espera juegue el Gobierno en el desarrollo de nuevas tecnologías. Además, a lo largo de nuestras observaciones sobre el desarrollo de las MNT hemos identificado que nuevos actores aparecen en la escena, estos actores cubren los vacíos que parecen haber sido resultados de procesos de reestructuración de las funciones de los sectores tradicionales (academia, gobierno e industria). Uno de estos actores nuevos son las fundaciones de carácter filantrópico².

En el desarrollo de las microtecnologías en México, específicamente de los Micro Sistemas Electromecánicos (MEMS, por sus siglas en inglés), hemos identificado que uno de los actores clave es la Fundación México – Estados Unidos por la Ciencia (FUMEC). De hecho, este actor ha efectuado diversas acciones en

¹ Se trata de un estudio que se inscribe en el proyecto de investigación de tesis doctoral que se desarrolla desde 2007 en PACTE PO, de la Universidad de Grenoble en Francia, y en codirección con el Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM, en México. El proyecto es apoyado por una beca de posgrado del CONACYT, México.

² Hablamos de nuevos actores en el sentido de que no han sido tomados en cuenta en los análisis del cambio tecnológico por los enfoques teóricos. Tradicionalmente se han considerado tres tipos de actores en las relaciones ciencia y sociedad, que son el Gobierno, la Academia y la Industria.

diferentes niveles y dimensiones desde el inicio de la emergencia de la MEMS en México.

En la literatura académica en ciencias sociales son pocos estudios sobre la participación de las fundaciones filantrópicas en el desarrollo científico. Los pocos estudios son a partir de enfoques históricos (Parmar, 2002a y 2002b), donde se ha ya evidenciado la importancia del rol de las fundaciones filantrópicas en el desarrollo científico y tecnológico, así como en la construcción de la hegemonía sobre los países menos desarrollados. Parmar (2002), señala además que hay una falta de estudios empíricos que nos den cuenta del papel de las Fundaciones en las dinámicas de producción de conocimiento y de cambio tecnológico. A partir de observaciones y estudios sobre América latina y las fundaciones filantrópicas, Cueto (1997) identifica y propone cinco problemáticas de investigación para una agenda de investigación sobre las fundaciones filantrópicas en el desarrollo de la ciencia: la concentración de recursos, el utilitarismo de la ciencia, el nacionalismo, las capacidades tecnológicas disponibles, y las redes de colaboración a nivel nacional e internacional.

Este artículo presenta los resultados de un estudio que se enfoca en al análisis de la trayectoria del desarrollo de las MEMS en México y la implicación de la Fundación México – Estados Unidos por la Ciencia (FUMEC). Este trabajo pretende aportar elementos al estudio del papel de las Fundaciones filantrópicas en los procesos de cambio tecnológico. La investigación se basa en una serie de visitas a laboratorios de investigación y de entrevistas a actores implicados en el desarrollo de estas tecnologías emergentes. Esta serie de entrevistas y observaciones inició en 2007 y actualmente se encuentra aún en curso. En el transcurso de este tiempo hemos seguido algunos proyectos de instalación de infraestructura, así como de algunos proyectos científicos y de colaboración. El cruce de las historias y relatos contados por los entrevistados nos ha permitido trazar el desarrollo de las MEMS en México. Esto nos acerca a un enfoque etnográfico de las ciencias y las técnicas en el sentido que nos ha permitido igualmente seguir la instalación de laboratorios, el desarrollo de proyectos y de actores mientras se va definiendo el campo de las MEMS en México, lo que nos aporta elementos que talvez no hubiéramos podido obtener y observar si hubiéramos llegado mas tarde, una vez que la infraestructura de MEMS y la organización de las actividades científicas y tecnológicas estuvieran estabilizadas.

En este texto se expone primero una breve introducción sobre las MEMS y su desarrollo en México. En el siguiente apartado se aborda la historia de la FUMEC y se intenta delimitar su perfil. Enseguida a través del relato de la creación de dos redes de colaboración entorno al desarrollo de las MEMS, se explicitan algunas iniciativas emprendidas por la FUMEC orientadas a la construcción de infraestructura científica y tecnológica. Dos estudios de caso de la construcción de dos laboratorios son analizados con el fin de avanzar elementos que respalden la evidencia de la importancia del papel de la FUMEC en el desarrollo de la tecnología MEMS en México. Finalmente, se dan algunas conclusiones.

Las MEMS y su emergencia en México

“MEMS” es el acrónimo en inglés de “sistemas micro electromecánicos”, en Europa se usa en menor medida “MST” para referirse a MicroSystem Technology. MEMS es utilizado para designar los dispositivos que tienen una longitud menor a 1mm y mayor a 1 μ m, que combina componentes tanto eléctricos como mecánicos y que son fabricados usando tecnologías de procesos de circuitos integrados (Gad-el-Hak, 2001). En la definición de los MEMS existe una ambigüedad en la escala. Otras definiciones sitúan en efecto los MEMS en una escala entre los 100nm hasta el rango de los centímetros (Lyshevski, 2000). Además, el término de “sistemas nano-electromecánicos” (NEMS) comienza a expandirse. Los NEMS se encuentran dentro de la escala que va de 0.1 a 100nm, sin embargo, algunos científicos y tecnólogos son escépticos al considerar que con las capacidades tecnológicas disponibles no es aún posible desarrollar NEMS.

Los orígenes del desarrollo de Microsistemas remontan a los años 70, sin embargo la aparición de los primeros MEMS en el mercado datan de los años 80. Es de hecho en la industria automotriz donde se incorporaron los primeros MEMS, se trata de los micro-acelerómetros que se emplean para activar las bolsas de aire en los automóviles en caso de una colisión. El desarrollo de la microelectrónica, en los años 70, hizo aportaciones sustanciales para el desarrollo de MEMS. De hecho, actualmente los MEMS son principalmente a base de silicio, sin embargo, nuevos materiales como los polímeros comienzan a ser utilizados. Por otra parte, el crecimiento exponencial de la nanotecnología igualmente impulso el desarrollo de MEMS, esto al efectuarse avances significativos en el estudio de fenómenos eléctricos, magnéticos, físicos, químicos, entre otros, en nuevos materiales y en la

manipulación de la materia a la escala micro y nanométrica. Los avances en la informática abrieron igualmente caminos para el desarrollo de los MEMS gracias a las herramientas del diseño asistido por computadora (CAD) y de otros programas empleados no solo para el diseño, sino también para la simulación de los microsistemas. Otras disciplinas como la microfluidica, la micromecánica, la microbiología, entre otras, son presentes en el desarrollo de los MEMS. En fin, la sinergia de diversas disciplinas ha entonces hecho posible el desarrollo de la tecnología MEMS, tecnología que por sus características se puede calificar como convergente.

En México, el desarrollo de los MEMS surgió a inicios de este siglo. La investigación científica y tecnológica en esta área emergente es reciente; el primer artículo en México fue publicado en el 2002³. Hasta la fecha, la publicación de artículos en esta área es aún muy poco representativa: un total de 17 artículos han sido indexados por el ISI-Thonsom. Sin embargo, una docena de centros e institutos de educación y de investigación están llevando a cabo actividades científicas y tecnológicas orientadas hacia el desarrollo de los MEMS en México. Estas actividades se enfocan en la formación de recursos humanos, en la instalación de infraestructura científica y tecnológica, así como en proyectos de diseño, de fabricación y de caracterización de MEMS. Muchas de estas actividades se inscriben en la iniciativa del desarrollo de estas tecnologías en México de la FUMEC.

Desde su creación, la FUMEC adquirió un carácter binacional (México y Estados Unidos) con el fin de responder a través de la colaboración científica a problemas comunes. En esta dinámica, la iniciativa para desarrollar MEMS en México tiene sus orígenes en el 2000 y 2001, esto durante la realización de unos talleres sobre la tecnología MEMS organizados por la Fundación, los Laboratorios Sandia y la Universidad de Texas en El Paso (FUMEC, 2002). El objetivo de estos talleres fue identificar las capacidades científicas y tecnológicas instaladas en la zona fronteriza para el desarrollo de MEMS. Los resultados de este mapeo mostraron que sobre la frontera existen diversas industrias interesadas en el desarrollo de MEMS, pero mostraron igualmente que existían pocas capacidades científicas del lado mexicano (pocos investigadores mexicanos estaban familiarizados con el desarrollo de MEMS).

³ Se consulta la base de datos de la ISI-Thonsom, versión Web of Science, para caracterizar la producción científica en México. La ecuación de búsqueda utilizada es la siguiente: TS=(microelectromechanical system* or MEMS or microelectromechanical device* or microsystem technolog* or BioMEMS or MOEMS) AND CU=(Mexico).

Sin embargo, esta falta de capacidades no represento un obstáculo para la FUMEC, ya que la Fundación, convencida de las potencialidades tecnológicas y económicas de los MEMS, definió un programa para el desarrollo de MEMS en México. Es frente a este contexto de pocas capacidades que la FUMEC tenía entonces dos retos inmediatos: capacitar recursos humanos y construir capacidades tecnológicas especializadas en MEMS.

Para cubrir ambos retos se requieren recursos financieros onerosos. Tan sólo la instalación de infraestructura científica y tecnológica necesaria para el desarrollo de MEMS está basada en laboratorios equipados de instrumentos y equipos costosos para la concepción, síntesis y caracterización de MEMS. La instalación de algunos de estos equipos requiere de locales con características ambientales particulares donde el aire debe estar libre de partículas de polvo, estos espacios se les conoce como cuartos limpios y su construcción llega a exceder el costo de los instrumentos instalados al interior. En un país como México, el sector público es el único con las capacidades de proporcionar el financiamiento para una infraestructura de esta magnitud. La FUMEC es consciente de lo anterior y fue en 2003 cuando tuvo la oportunidad de presentar y llamar la atención del Gobierno hacía el desarrollo de la tecnología en MEMS. Esto sucedió durante un taller organizado por la FUMEC, el CONACYT y la compañía trasnacional AMD para promover la colaboración entre empresas hispánicas de base tecnológica en Estados Unidos y empresas, universidades y centros de investigación mexicanos. En este evento se encontraban presentes el Presidente y el Secretario de economía de México y fue cuando la FUMEC presento su programa para el desarrollo de MEMS, del cual el Presidente de México mostró un interés entusiasta.

Las iniciativas para la creación de capacidades científicas y tecnológicas emprendidas por la FUMEC han estado orientadas en la formación de recursos humanos, la instalación de infraestructura y la creación de redes de conocimiento para la investigación y el desarrollo de MEMS en México. Estas iniciativas han sido apoyadas principalmente por el Gobierno Federal, así como por las instituciones de educación e investigación involucradas y por algunos Gobiernos locales. Además, el lado de la demanda (industrias y mercado) también ha sido integrado en algunas de estas iniciativas a través de algunos programas igualmente formados por la FUMEC. Enseguida, utilizando el relato como estilo, detallaremos algunas de estas iniciativas

para dar cuenta del papel de la FUMEC en la instalación y desarrollo de la tecnología MEMS en México. Pero antes de continuar, con el fin de avanzar más elementos para contextualizar el presente estudio, de forma breve presentamos la historia y algunos aspectos que caracterizan actualmente a la FUMEC.

Origenes y perfil de la FUMEC

La Fundación México – Estados Unidos por la Ciencia fue creada en 1992 como un organismo no gubernamental. La iniciativa de la creación de la FUMEC es atribuida al congresista estadounidense George E. Brown Jr., quien había propuesto crear una Fundación América latina – Estados Unidos por la Ciencia, lo que implicaba el compromiso de varios países. Las condiciones para una iniciativa de esta envergadura sin embargo no eran favorables. El sólo país con quien fue posible dar seguimiento a la propuesta del congresista estadounidense fue México. Las actividades de la fundación dieron inicio en 1993 a pesar de que la Fundación fue creada en 1992.

La FUMEC puede ser catalogada como una organización filantrópica ya que sus actividades y acciones son llevadas a cabo sin fines de lucro y están enfocadas para el beneficio social. En la Fundación las dediciones son tomadas por una Junta de Gobierno, que estaba conformada al inicio por 10 miembros; 5 de cada país. Actualmente la Junta de Gobierno de la FUMEC está constituida por 16 personas, las cuales provienen del sector gubernamental, del sector académico y del sector industrial. A pesar de que el órgano donde se toman las dediciones está compuesto por individuos provenientes de estos tres sectores, la FUMEC se denomina independiente de éstos. Esta independencia le confiere a la Fundación varias ventajas frente a las demás instituciones. Una de estas ventajas es relacionada con la legitimidad antes las demás instituciones, un responsable de los programas de la FUMEC nos dice: “nosotros somos un ente que no pertenece a ningún sector y este carácter de neutralidad nos da mucho valor ante las instituciones, porque no representamos competencia para ninguno” (Avendaño, 2009). Otra ventaja importante es la independencia política, en el sentido en que los cambios de poder político (cambio del partido político en el poder, por ejemplo) tienen poco impacto en los programas y estrategias establecidos por la Fundación, esto ya que las estrategias de la FUMEC no son delineadas y determinadas en función de las políticas de ciencia y tecnología. El impacto que tienen los cambios de política en los

programas se reflejan en el financiamiento, ya que las instituciones gubernamentales son las principales fuentes de financiamiento de las actividades y proyectos de investigación impulsados por la FUMEC. Otra ventaja clave que es importante señalar es la red política que mantiene la FUMEC, se trata en efecto de relaciones políticas y en ocasiones interpersonales que son movilizadas por la Fundación a través de los miembros de la Junta de Gobierno que está conformada por personalidades de alto nivel jerárquico en el gobierno, la academia y la industria.

El modelo de financiamiento de las Fundaciones se sustenta en un fondo de capital establecido por diferentes entidades. Este fondo de capital no es directamente utilizado por las Fundaciones, son los intereses generados por este capital inicial que permite la sustentabilidad de las Fundaciones. Para el caso de la FUMEC, la propuesta inicial para financiar su creación se basó en el modelo de “intercambio de deuda por ciencia” (Brown y Sarewitz, 1991), modelo inspirado en el de “intercambio de deuda por naturaleza” que consiste en retirar una parte de la deuda externa de un país a cambio de su cooperación en materia de la conservación de su propio medio ambiente (Gonzalez-fernández y Pérez-Ímigo, 2008). La proposición de Brown y Sarewitz se trata en adaptar esta última noción para las agencias de ciencia y tecnología de los países en desarrollo. Específicamente estos autores proponen que “los cambios de deuda pueden ser utilizados para financiar Fundaciones para el apoyo continuo de la cooperación en investigación y desarrollo”. Finalmente, el fondo de capital para la creación de la FUMEC fue constituido por partes iguales provenientes de los dos países. Del lado de Estados Unidos, fue la Agencia de Desarrollo Internacional quien destinó 2 millones de dólares, y por parte de México se destinó la misma cantidad por medio del CONACYT.

Desde su creación, la Fundación se caracterizó por tener un enfoque geográfico específico sobre la línea fronteriza entre México y Estados Unidos. Este carácter binacional le fue conferido con el fin de responder a problemas comunes que pueden ser resueltos de manera conjunta entre ambos países. Esta misión central se mantiene en esencia hasta hoy en día, de hecho en el primer y último reporte de actividades de la Fundación podemos ver que los enunciados han cambiado pero en el fondo la misión central de la Fundación, que es promover la cooperación binacional en ciencia y tecnología entorno a problemáticas comunes, se mantiene.

Por otra parte, la sociología de las organizaciones nos ha mostrado que las organizaciones cambian sus objetivos y reglas del juego en función de los nuevos retos encontrados. La FUMEC no es la excepción, ya que podemos ver un cambio en las estrategias y por lo tanto en las acciones en función de las ventajas de oportunidad que son identificadas. Este ajuste en las estrategias de la Fundación es notorio al comparar los reportes de actividades que son publicados cada dos años. En el primer reporte, por ejemplo, publicado en 1998, la orientación de la Fundación fue promover, apoyar y alentar “la cooperación binacional en áreas de investigación, educación y fortalecimiento institucional relacionadas con la ciencia, la tecnología y la salud pública” (FUMEC, 1998). En este reporte, que cubre los primeros 5 años de actividades, los proyectos apoyados fueron principalmente en ciencia básica en tres áreas prioritarias: “medio ambiente, salud pública y problemas socioeconómicos derivados de la integración de ambas sociedades”. A pesar de que el enfoque geográfico se limitaba a la frontera y de que las áreas de trabajo concernían principalmente a esta zona, en los siguientes años el perfil de la FUMEC cambio llevando, por una parte, su geografía de acción más allá de la frontera adentrándose al interior de México y, por otra parte, identificando y cubriendo nuevas áreas estratégicas para la colaboración binacional en ciencia y tecnología. Sobre este último punto es importante señalar que la Fundación ha pasado por un cambio de estrategias centradas en problemas fronterizos -como manejo de aguas residuales y salud pública- (FUMEC, 1998) a estrategias encaminadas a tener un mayor impacto socioeconómico en la región de América del Norte -como desarrollo de MEMS y de la industria aeroespacial y automotriz (FUMEC, 2010).

Actualmente la FUMEC se define como “una organización que funciona a base de proyectos” (FUMEC, 2010). La estrategia de la FUMEC se enfoca, en efecto, en trabajar sobre proyectos específicos que responden a ventanas de oportunidad identificadas. La agenda de proyectos se divide en tres áreas estratégicas: 1. desarrollo económico basado en la innovación tecnológica, 2. desarrollo de recursos humanos en ciencia y tecnología, y 3. medio ambiente y salud. Cada una de estas áreas está integrada por diferentes programas y el personal que integra la FUMEC está organizado dentro de los programas. El área de medio ambiente y salud cuenta con tres programas que son Cambio Climático, Salud en la Frontera e Inocuidad Alimentaria. La parte de desarrollo de recursos humanos está formada por el programa de Colaboración en la Enseñanza de la Ciencia (INNOVEC) y el programa

Innovación en Educación de la Ciencia, la Tecnología, las Ingenierías y las Matemáticas, el programa Colaboración Binacional entre las Academias Nacionales de Ingeniería y Medicina y el programa de Estancias de Verano y Visitas de Investigadores Distinguidos. Finalmente, el área de desarrollo económico basado en la innovación tecnológica está conformada por el programa Automotriz, el programa de Aceleradoras de Empresas Tecnológicas (TechBA), el programa del Sistema de Asistencia Tecnológico Empresarial (SATE), y el programa de Microsistemas. Cada uno de estos programas es anualmente evaluado y aprobado por la Junta de Gobierno de la FUMEC. Estos programas están a la vez conformados por una constelación de proyectos orientados a cubrir los objetivos de cada programa y que están sustentados en la colaboración tanto institucional como binacional.

El presente estudio se centra en unos proyectos del programa de Microsistemas, que es el programa donde se llevan a cabo las actividades y acciones para el desarrollo de MEMS en México por parte de la FUMEC.

Formación de redes de colaboración entorno al desarrollo de MEMS

Ya mencionamos que al inicio del desarrollo de las MEMS en México, la FUMEC efectuó un mapeo de las capacidades científicas y tecnológicas, y que el resultado de este ejercicio mostró la existencia de prácticamente capacidades nulas. Frente a este escenario los obstáculos inmediatos a superar fueron la instalación de infraestructura y la capacitación de recursos humanos. Por otra parte, en el programa de Microsistemas de la FUMEC el objetivo es estimular el desarrollo y la aplicación de microsistemas en México. Para llegar a la fabricación en masa y la comercialización de MEMS hay tres etapas previas: la concepción, la fabricación de prototipos y su caracterización. Estas etapas se desarrollan a nivel de laboratorio, para lo cual se requiere de infraestructura muy especializada, que en países no industrializados es muy rara, ver inexistente.

Frente a la problemática de la instalación de infraestructura para el desarrollo de MEMS, la estrategia de la FUMEC consistió en cubrir primero la primera etapa, que es el diseño y la simulación, para el desarrollo de MEMS. La infraestructura para esta etapa se trata principalmente de computadoras y de programas especializados de diseño asistido por computadora, infraestructura que representa inversiones importantes de capital, ya que las licencias de los programas son costosas. Para la

instalación de esta infraestructura de base la FUMEC obtuvo el compromiso y apoyo del Gobierno Federal, vía la Secretaría de Economía (SE). Es pertinente señalar que el apoyo gubernamental al desarrollo de MEMS se dio (y se sigue dando) a pesar de que no existe una política nacional clara para el desarrollo de estas tecnologías en México.

Por otra parte, la falta de infraestructura es un tema central en la organización de la ciencia. En condiciones donde el acceso a la infraestructura es limitado, la puesta en común de los instrumentos constituye una alternativa para sobrepasar la falta de infraestructura científica y tecnológica. Por ejemplo, en el caso de las nanotecnologías, campo muy cercano a la tecnología MEMS, la conformación y reorientación de redes de colaboración científica a constituido una alternativa para paliar la falta de infraestructura en México (Robles-Belmont, 2009). Otra opción es la aglomeración de las capacidades científicas y tecnológicas, sin embargo, la aglomeración de actividades científicas (cluster científicos) significa la movilización de importantes recursos tanto materiales como humanos. La FUMEC se inclinó sobre la estrategia de la conformación de redes de colaboración con el fin de racionalizar las escasas plataformas científicas y tecnológicas disponibles y en construcción.

Es entonces en el 2002 que la FUMEC lanzó, con el apoyo de la SE, una convocatoria para crear una red nacional de centros de diseño de MEMS, red que lleva el nombre de RED de CD-MEMS. El objetivo principal de la creación de estos centros y de organizarlos en red es entonces el de ofrecer la infraestructura necesaria para el diseño de MEMS en México. Al inicio, esta iniciativa contemplaba solamente a los estados fronterizos, sin embargo, la FUMEC y la SE decidieron expandir la zona de acción sobre todo el territorio mexicano (García, 2008). A esta convocatoria respondieron diversas universidades y centros de investigación en diferentes partes de México. Los seleccionados en la convocatoria se reunieron a finales de 2002 y, a inicios del 2003, una serie de reuniones con especialistas en MEMS de Estados Unidos tuvieron lugar con el fin de formar a los investigadores mexicanos en el campo de los MEMS.

La iniciativa consistió en instalar laboratorios con capacidades tecnológicas para desarrollar el diseño y la simulación de MEMS. La propuesta consistió en que los equipos de cómputo y las licencias de los programas de diseño eran financiados con

fondos provenientes de la Secretaría de Economía, y la parte concerniente a los locales y a las instalaciones para albergar estos equipos, así como el mantenimiento de las licencias de los programas debían ser aportados por las instituciones de educación y de investigación. No todos los seleccionados continuaron con el proyecto, ya que por motivos internos a las mismas instituciones no se logró el compromiso de éstas para asegurar la continuidad de los centros de diseño. En fin, la Red de CD-MEMS está constituida por 10 centros que están situados en diversas instituciones de educación superior y de investigación en ocho Estado de México.

En el centro se encuentra en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México (UNAM-FI) uno de estos centros de diseño. Al sur de la ciudad de México, en el estado de Morelos se encuentra el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) que alberga otro centro y al oriente de la ciudad de México se encuentran dos centros más de diseño; uno en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y otro en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP). Sobre la costa del Golfo de México, se localiza la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, donde se encuentran las instalaciones de otro de estos centros.

Entre el norte y el centro de México, se encuentra la zona del Bajío donde tres de estos centros han sido instalados; dos de éstos en el Estado de Guadalajara, de los cuales el primero en instalaciones de la Universidad de Guadalajara (UdeG) y el segundo en instalaciones del Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional, unidad Guadalajara. Aquí cabe mencionar que la ciudad de Guadalajara se caracteriza por albergar varias industrias del sector de la electrónica, tales como Flextronics, Sanmina SCI, Solectron, IBM, Motorota, Intel, ST Microelectronics y Siemens VDO (Ham, 2007), incluso esta ciudad lleva el sobrenombre del "Silicon Valley mexicano". El tercer centro de diseño de MEMS situado en la zona del Bajío se encuentra en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Irapuato (ITESI), en el Estado de Michoacán.

En el norte del país, dos centros de diseño han sido instalados. Uno sobre la frontera, en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) y el segundo en la celebre ciudad industria de Monterrey, dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM).

La red de CD-MEMS es la precedente de una segunda red de colaboración creada para responder a la evolución del desarrollo de MEMS. Se trata en efecto de una red que pretende cubrir las otras dos etapas del desarrollo de MEMS, que son la fabricación y caracterización. Esta segunda red lleva el nombre de “red de innovación de MEMS” y está constituida por tres laboratorios, llamados por lo tanto “laboratorios de innovación de MEMS”. El fin de la creación de estos tres laboratorios es cerrar el ciclo de desarrollo de MEMS, ofreciendo la infraestructura necesaria para la obtención de MEMS con aplicaciones específicas en tres nichos de oportunidad: BioMEMS, MEMS para la industria automotriz y MEMS para telecomunicaciones.

El primer laboratorio de esta segunda red se encuentra en el INAOE, en el Estado de Puebla, este laboratorio recientemente ha sido inaugurado y se inscribe dentro de una iniciativa del INAOE de la construcción del Laboratorio Nacional de Nanoelectrónica (también apoyado por la FUMEC). Este laboratorio del INAOE cuenta con cuartos limpios de clase 10 y 100 equipados para la fabricación de obleas de silicio de 6 pulgadas, la fabricación de circuitos integrados, de sensores, de actuadores y de MEMS, entre otros equipos. El segundo laboratorio de innovación ha sido instalado en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, este laboratorio cuenta con equipo para la caracterización y para la fabricación de MEMS basados en materiales polímeros, que tienen la ventaja de ser biocompatibles y de ser menos costosos que los MEMS basados en silicio. El último laboratorio se encuentra en la UACJ, y cuenta con instrumentación y equipo para el encapsulado de los MEMS.

Es entonces a través de estas dos redes de colaboración que se concreta la instalación de la infraestructura necesaria para el desarrollo de MEMS y que una parte de las actividades para este desarrollo se organizan. También desde el inicio de la iniciativa del desarrollo de MEMS, la cuestión del acceso a la infraestructura ha sido central, ya que una de las condiciones de la SE fue la no duplicidad de infraestructura para los laboratorios de innovación. Es por lo tanto que la puesta en común del equipo dentro de la red es una forma de racionalizar los recursos.

En todo este proceso de instalación de la infraestructura, la participación de la SE se dio por medio del financiamiento del equipo para la red de CD-MEMS, mientras que la otra parte de la infraestructura (adaptación de locales, por ejemplo) fue asegurada

por las instituciones educativas y de investigación donde se instalaron los centros. Concerniente a los laboratorios de innovación en MEMS el financiamiento no provino solamente del Gobierno Federal (vía la SE) y de las instituciones educativas y de investigación involucradas, también hubo la participación de los gobiernos locales para el caso de los laboratorios en la UACJ y en el INAOE. De hecho, estos apoyos por parte de los gobiernos locales se inscribieron en políticas locales y puntuales hacia el desarrollo de capacidades tecnológicas. En todos los casos, a nivel institucional los investigadores responsables de los centros jugaron un papel decisivo como agentes intermediarios entre la institución y la FUMEC.

La forma de organización de cada laboratorio quedo a ser definida por los mismos laboratorios y las instituciones donde han sido instalados. En estos procesos organizativos la FUMEC no tuvo injerencia, lo que ha permitido en cierta medida que los centros de diseño definieran nuevos horizontes y desarrollaran sus propias líneas y proyectos de investigación. Incluso algunos de estos centros han evolucionado fuera del marco de las redes de colaboración en MEMS en verdaderos centros de investigación, como es el caso del CD-MEMS de la Universidad Veracruzana que se convirtió en el Centro de Micro y Nanotecnología (MICRONA) y el caso del CD-MEMS de la UACJ que es el antecedente del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Aplicada (CICTA) de esta universidad.

Finalmente, en este proceso de la instalación de la infraestructura la FUMEC fue un actor central, ya que estuvo a la cabeza en la definición de las estrategias a seguir y jugo el papel de facilitador de la cooperación, al articular y movilizar a los otros actores en este proceso.

Construcción de dos laboratorios de innovación en MEMS

Con el fin de avanzar otros elementos para mostrar la importancia del papel de la FUMEC en la emergencia de las MEMS en México, en este apartado del texto vamos a abordar dos estudios de caso. Se trata de la construcción de dos de los centros de diseño ya mencionados, haciendo énfasis en los contextos donde se desarrollaron.

El primer estudio de caso concierne el CD-MEMS instalado en la Universidad Veracruzana. Las instalaciones donde se encuentra este centro de diseño son las de la facultad de ingeniería que se sitúan en la Ciudad de Boca del Río, a un costado

del puerto de Veracruz, sobre la costa del Golfo de México. En esta facultad se imparte la carrera de electrónica y comunicaciones, a pesar de que en la zona no hay presencia de industria en este ramo donde los estudiante puedan laborar al terminar sus estudios, lo que implica que los egresados de esta carrera emigren hacia otros estados del norte para laborar, como a la ciudad de Guadalajara. La creación del CD-MEMS estuvo desde el inicio a cargo del Dr. Pedro García, egresado del INAOE y ex-empleado en Motorola en Guadalajara. En el 2002, siendo profesor en la facultad de ingeniería, a través del departamento de vinculación de la universidad, al Dr. Pedro llega la convocatoria de la FUMEC y SE para la creación de la red de CD-MEMS. A finales de ese mismo año asiste a una reunión en el INAOE y para inicios del 2003 comienza a tomar una serie de cursos impartidos por especialistas en MEMS de Estados Unidos para formar a los mexicanos en esta área emergente. A finales de 2003, la Universidad Veracruzana logra constituir todos los requisitos para la instalación del CD-MEMS.

En busca de impulsar las actividades en el CD-MEMS, el Dr. Pedro por medio de otro profesor de la misma universidad se acerca a la empresa TAMSA, que es una empresa especializada en la producción de tubos sin costura para la extracción del petróleo, para exponerle las potencialidades técnicas de las aplicaciones de MEMS. Este fue un primer contacto con la industria local que se concretizo dos años mas tarde, en el 2005, con la firma de un contrato de desarrollo de MEMS para esta empresa.

El 2005 es un año coyuntural en favor para este centro de diseño (García, 2008), ya que ese año hay un cambio en la rectoría de la Universidad y además se celebra la Segunda reunión Iberoamericana de tecnología MEMS, y es la FUMEC como organizadora que trae distinguidos invitados de Estados Unidos y propone a la Universidad Veracruzana ser la sede del evento con el fin de impulsar en nuevo CD-MEMS. El nuevo Rector de la universidad asiste a la inauguración del encuentro sobre Microsistemas y queda convencido de invertir esfuerzos en el desarrollo de las micro y nanotecnología. Posteriormente, ya con el apoyo de la universidad se aprueba la contratación de cinco investigadores y el CD-MEMS se convierte en el Centro de Micro y Nanotecnología (MICRONA). Además de este impulso, recordemos la iniciativa con la empresa TAMSA, iniciativa que desemboco en el desarrollo de un sensor de campo magnético para el control de calidad de los tubos

sin costura. Este proyecto es emblemático, pues se trata del primer MEMS desarrollado, desde la concepción hasta la fabricación y aplicación, dentro del marco de las iniciativas impulsadas por la FUMEC. De hecho, la FUMEC no solo fue presente en la creación del CD-MEMS en la Universidad Veracruzana, sino que también fue presente en el desarrollo del Microsistema para la empresa Tamsa al ser parte de gestión de un proyecto financiado por la SE⁴. En fin, actualmente MICRONA cuenta con locales nuevos y equipo científico para el diseño, simulación, fabricación y prueba de MEMS, así como de equipo para el desarrollo de nanomateriales.

Nuestro segundo estudio de caso es sobre el CD-MEMS que se sitúa en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, donde igualmente se imparte la licenciatura de ingeniería eléctrica y electrónica. La iniciativa de este centro en la UNAM también tuvo sus orígenes en las reuniones efectuadas en el 2002 dentro del marco de la convocatoria para la creación de la red de CD-MEMS, impulsada por la FUMEC y financiada por la SE. En el 2003, los investigadores de la UNAM involucrados en el proyecto asistieron a los cursos para formar a los investigadores mexicanos en el desarrollo de MEMS. Cabe mencionar que estos cursos fueron parte de una estrategia coordinada por la FUMEC para la formación de recursos humanos para sobrepasar la falta de estos recursos en México. Fue en este mismo año que el grupo de la UNAM, dirigido por el Profesor Roberto Tobar, se dio la tarea de establecer y estructurar un proyecto para el desarrollo de MEMS dentro de esta universidad. El proyecto fue llamado UNAMems y se planteó en tres etapas: el centro de diseño, el centro de caracterización y pruebas, y el centro de fabricación.

La primera etapa, el CD-MEMS, fue concluida e inaugurada a inicios del 2005. La infraestructura consta de 10 equipos de cómputo equipados del programa Conventor para el diseño de MEMS.

La segunda etapa comprende la construcción de cuartos limpios para la instalación de equipo para la caracterización y prueba de MEMS, que se compone de microscopios, una estación de prueba, cámaras de vacío, analizadores de impedancia, así como de otros instrumentos para mediciones eléctricas. Este

⁴ Se trata del proyecto intitulado “Análisis, Diseño e Implementación de un Sistema de Adquisición de Datos Analógicos Basado en Microelectrónica y Tecnologías MEMS para la Medición de Campo Magnético” por un monto de un millón de pesos mexicanos. No es el único proyecto de desarrollo de MEMS donde ha intervenido la FUMEC, ya que el apoyo en la gestión de proyectos de desarrollo de MEMS es una de las actividades contempladas en el programa de Microsistemas de la FUMEC, proyectos que son financiados por la SE.

laboratorio fue inaugurado a finales de 2008 y su financiamiento se hizo a partir de recursos obtenidos de la propia UNAM y de la SE (vía la FUMEC). Este segundo laboratorio se inscribe de hecho en la iniciativa de Laboratorios de Innovación en MEMS de la FUMEC y la SE.

La última etapa es la construcción del centro de fabricación de MEMS utilizando procesos basados en materiales polímeros. La infraestructura de esta última etapa está conformada por equipo de Sputtering y de deposición térmica para fabricar obleas de 2 y 4 pulgadas, de un micromanipulador, equipo de litografía y una estación de para BioMEMS y MEMS RF. La infraestructura de esta tercera etapa igualmente ha sido financiada por la UNAM y la SE.

Actualmente el Centro UNAMems cuenta con siete investigadores organizados en cuatro líneas de investigación y desarrollo de MEMS, y más de 25 alumnos están vinculados con proyectos desarrollados en este centro. Cabe mencionar que en el proceso de la instalación del CD-MEMS y del Laboratorio de Innovación en MEMS, la FUMEC ha desempeñado el papel de agente articulador entre la Facultad de Ingeniería de la UNAM y la SE (Tobar, 2010).

Conclusiones

En este artículo hemos analizado el desarrollo de las MEMS en México, donde hemos igualmente señalado la importancia del papel de la Fundación México - Estados Unidos por la Ciencia (FUMEC). Para dar cuenta de la implicación de esta Fundación filantrópica, hemos abordado la parte de la instalación de la infraestructura científica y tecnológica para el desarrollo de estas tecnologías emergentes en México. Los resultados presentados dan cuenta entonces de cuales son las acciones de esta Fundación, y de cómo éstas se llevan a cabo en diferentes niveles y dimensiones. Las principales funciones que hemos identificado están orientadas a la identificación de la 'ventana de oportunidad', la movilización y la articulación de los demás actores (científicos, industriales y políticos), y la búsqueda de recursos humanos y financieros.

Al caracterizar el perfil de la FUMEC, hemos visto que su posición como organismo no gubernamental e "independiente" del sector industrial y del académico, le confiere diversas ventajas como son la legitimidad y la autonomía en la toma de decisiones. También vimos que las actividades de la FUMEC están enfocadas en la creación de valor social y la racionalización de los escasos recursos públicos para dirigir el

progreso social (Porter & Kramer, 1999) y de algunas prácticas gerenciales al definir y orientar sus estrategias, prácticas que son características de la nueva filantropía que ya ha sido señalada por Edwards (2008).

Sobre la evolución de las MEMS en México, vimos que el desarrollo de esta tecnología era prácticamente inexistente en México a inicios de este siglo. La producción científica es en efecto muy insípida, sin embargo, la construcción de capacidades para el desarrollo de esta tecnología ha tomado forma en los últimos diez años de forma acelerada. Esto se refleja en la existencia de los diez CD-MEMS y los tres laboratorios de innovación instalados en México como resultado de las iniciativas impulsadas y gestionadas por la FUMEC.

Sobre la participación de la FUMEC, en los estudios de caso expuestos hemos evidenciado que esta Fundación ha desempeñado un papel importante en varios aspectos: definición de la estrategia a seguir, apoyo a la instalación de la infraestructura, y movilización de actores clave. De hecho, hemos observado que en este proceso, la FUMEC ha estado presente desde la definición de las MEMS como una ventana de oportunidad para México, hasta la aplicación de esta tecnología y la puesta en el mercado de productos MEMS. Además, es importante resaltar otra fortaleza de la Fundación que es la red de relaciones académicas, industriales y políticas, constituida a través de su Junta de Gobierno, con que cuenta la FUMEC, ya que esta red ha sido un elemento clave en todo este proceso de definición e instalación de las MEMS en México.

Además, existen otras iniciativas que no fueron abordadas en este texto que están orientadas a la capacitación de recursos humanos, la vinculación entre el sector académico y el industrial, así como de la promoción del desarrollo de esta tecnología emergente. Esto representa un terreno interesante, que estamos explorando, para avanzar en la comprensión de cambios tecnológicos en condiciones adversas donde las Fundaciones juegan un papel importante (Cueto, 1997).

Finalmente, el peso de las acciones e iniciativas de la FUMEC como organismo articulador en el desarrollo de las MEMS en México, sugiere que es pertinente tomar en cuenta a las Fundaciones filantrópicas como actores en los estudios sociales de la ciencia y de los cambios tecnológicos. Con esto no pretendemos avanzar un nuevo modelo que haga concorrenza a los ya existentes, sin embargo, se afirma que no todos los actores involucrados en los procesos de cambio tecnológico y

producción y aplicación de nuevos conocimientos son tomados en cuenta en estos modelos. Es necesario por lo tanto expandir el abanico de actores a tomar en los estudios de las relaciones de la ciencia y la sociedad.

Referencias

Avendaño, G., (2009). Entrevista realizada el 9 de septiembre de 2009.

Brown, Jr.G.E. & Sarewitz, D.R. (1991). Fiscal Alchemy: Transforming Debt into Research. *Issues in Science and technology*, vol.7, pp. 70-76.

Cueto, M. (1997). Science under Adversity: Latin American Medical Research and American Private Philanthropy, 1920-1960. *Minerva*, vol. 35, issue 3, pp. 233-245.

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

Edwards, M. (2008). *Juste Another Emperor? The Myths and Realities of Philanthrocapitalism*. Demos: A Network for ideas & Action, The Young Foundation, USA.

Etzkowitz, H., (2008). *The Triple Helix. Universitu-Industry-Government. Inovation in Action*. Routledge, NY.

FUMEC (1998). *Reporte de actividades 1993-1997*, disponible en:

<http://www.fumec.org.mx>

FUMEC (2002). *Reporte de actividades 2000-2001*, disponible en:

<http://www.fumec.org.mx>

FUMEC (2010). *Reporte de actividades 2008-2009*, disponible en:

<http://www.fumec.org.mx>

Gad-el-Hak, M. (2001). *The MEMS Handbook*. CRC Press.

García, P. (2008). Entrevista realizada el 9 de septiembre de 2008.

Ham, L. A., (2007). La importancia de la industria electrónica en Jalisco. *e-scholarum*, Vol. 1, No. 1, pp. 46-60. Disponible en: <http://genesis.uag.mx/>

Hessels, L. K., & van Lente, H., (2008). Re-thinking new knowledge production: A littérature review and a research agenda. *Research Policy*, Vol. 37, issue 4, pp. 740-760.

- Leydesdorff, L. & Etzkowitz H., (1996). Emergence of a Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Science and Public Policy*, vol. 23, pp 279-86.
- Lundvall, B.A., (1992). *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Pinter Publishers, London.
- Lyshevski, S. E. (2000). *Nano- and Microelectromechanical Systems*. CRC Press.
- Manoharan M, (2008). Research on the frontiers of materials science: The impact of nanotechnology on new material development. *Technology in Society*, Vol. 30 (3-4), 2008, pp. 401-404.
- Parmar, I., (2002a). American foundations and the development of international knowledge networks. *Global Networks*, vol. 2, issue 1, pp 13-30.
- Parmar, I., (2002b). To Relate Knowledge and Action: the Impact of the Rockefeller Foundation on Foreign Policy Thinking During America's Rise Globalism 1939-1945. *Minerva*, vol. 40, no. 3, pp. 235-263.
- Porter, M. E. & Kramer, M. R. (1999). Philanthropy's New Agenda: Creating Value. *Harvard Business Review*, Novembre-Decembre, pp. 121-130.
- Robles-Belmont, E. (2009). Las redes científicas como respuesta a la emergencia de las nanociencias y nanotecnologías. *REDES*, Vol. 15, n°29, Buenos Aires, Mayo de 2009, pp. 93-111.
- Robles-Belmont, E., de Gortari-Rabiela, R. & Vinck, D., (2009). "El Estado, la industria y la Universidad en el desarrollo de tecnologías emergentes en México: el caso de la nanotecnología". Conferencia ALTEC 2009, comunicación n° 152, Cartagena de Indias, Colombia, 25-27 de Noviembre.
- Sábato, J. A., & Botana, N., (1971). La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América latina. En Sábato, J. A. (coord.), *El pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia*. Edit. Paidós, Buenos Aires, pp. 143-154.
- Sábato, J. A., (1997). Bases para un régimen de tecnología. *REDES*, vol. 4, núm. 10, pp. 117-137.
- Tobar, R. (2010). Entrevista personal efectuada el 29 de mayo de 2010.