

# **Enfoques de redes en la caracterización y evaluación de nuevas tecnologías. Estudio de las microtecnologías en México**

Resumen:

En este artículo se presenta un marco para la caracterización y la evaluación de la instalación y desarrollo de una tecnología emergente desde los enfoque de redes. Es a través del análisis de redes técnico-económicas y del análisis de redes sociales que se estudia el desarrollo de las microtecnologías en México en torno a los polos científico, técnico y mercado. Los resultados nos permiten identificar actores heterogéneos en las diferentes configuraciones de redes de colaboración en los diferentes polos en el desarrollo de estas tecnologías emergentes en México. Igualmente, se aportan algunos elementos que nos permiten dar cuenta de las dinámicas de las redes caracterizadas. El marco de análisis propuesto en este trabajo puede replicado en otros casos de desarrollo de tecnologías, siempre y cuando teniendo cuidado con aspectos metodológicos.

Palabras clave: Microtecnologías; Evaluación de tecnologías emergentes; Análisis de redes científicas.

Abstract:

This article presents a framework for the characterization and evaluation of the installation and development of emerging technology from network approach. It is through the analysis of techno-economic networks and social network analysis, which examines the development of microtechnology in Mexico around the poles scientific, technical and market. The results allow us to identify heterogeneous actors in the different configurations of collaborative networks in the different poles in the development of these emerging technologies in this country. Likewise, provide some elements that allow us to account for network dynamics characterized. The analytical framework proposed in this paper can be replicated in other cases of technology development, taking care provided methodological issues.

Keywords: Microtechnologies; Assessment of emerging technologies; Scientific network analysis.

## **Introducción**

Frente a la emergencia de nuevas ciencias y tecnologías, conocer sus características y evaluar el estado de su desarrollo son dos puntos importantes en los estudios sociales de la ciencia y la tecnología, así como en el campo de estudios de prospectiva y de gestión tecnológica. En la literatura académica y en reportes institucionales se han propuestos diferentes indicadores que nos permiten evaluar las capacidades científicas y tecnológicas disponibles (OCDE, 2007; Moed, et al., 2004). Generalmente se trata de indicadores cuantitativos expresados en insumos (inputs) y en productos o resultados (outputs). Sin embargo, existe inconformidad sobre los indicadores propuestos y esto ya que, por ejemplo, en muchos casos hay un vacío en la información para producir estos indicadores lo que impide la obtención de datos cuantitativos validos y comparables (Albornoz y Fernandez-Polcuch, 1996). En el campo de la cienciometría se han hecho muchos esfuerzos y avances en el análisis de datos bibliométricos que nos permiten caracterizar y evaluar las

actividades científicas desde una perspectiva de las publicaciones. Desde la última década, el uso del análisis de redes sociales aplicado a las coautorías, a las citas y a las áreas del conocimiento (donde son clasificadas las publicaciones científicas) está ocupando un lugar cada vez más importante. Estos trabajos académicos nos proporcionan paisajes o mapas de la ciencia que nos permiten identificar y representar gráficamente a las comunidades científicas (Morillo & Aparicio, 2011) y el carácter multi o interdisciplinario de la ciencia (Rafols et al., 2010; Waltman & van Eck, 2012).

El uso de la noción de “red” también se ha extendido en los estudios sobre la ciencia y la tecnología en diferentes disciplinas. En torno a este concepto, existe una amplia literatura académica, en la cual se distinguen dos concepciones distintas. La primera se inscribe en el enfoque de análisis de redes sociales (ARS) y la segunda en el enfoque de la teoría del actor-red (TAR) (Grossetti, 2007). El ARS generalmente aplicado a las publicaciones científicas y tecnológicas es atractivo ya que nos permite identificar a los actores científicos y sus relaciones, así como efectuar algunas medidas de éstas para determinar la posición de los actores en la estructura científica. Además, se han propuesto diferentes formas de visualizar las redes de colaboración a partir de diferentes enfoques (Kamada y Kawai, 1989; Van Eck y Waltman, 2010). Por otra parte, el interés de la TAR se centra en su capacidad de permitirnos identificar actores heterogéneos (además de los científicos otros actores presentes en las actividades de producción de nuevos conocimientos), caracterizar y calificar las relaciones entre éstos, así como describir las dinámicas que caracterizan las redes científicas y tecnológicas en la producción, uso y diseminación de nuevos conocimientos. De hecho, según el tipo de datos y los enfoques metodológicos, podemos decir que el ARS es de carácter cuantitativo y la TAR de carácter cualitativo. En los estudios sobre redes en el campo científico parece haber una tendencia en oponer ambas concepciones. No obstante, de acuerdo con Grossetti (2007), sería interesante definir un marco metodológico y conceptual que nos permita movilizar ambas concepciones de la noción “red” con el fin de enriquecer y aumentar la capacidad explicativa e interpretativa de los estudios sobre la ciencia y la tecnología.

Es en este marco de la evaluación de la producción, uso y diseminación de nuevos conocimientos y del empleo de las nociones de redes que se inscribe esta investigación. En la cual se presentan los resultados de una propuesta para la utilización de la noción de red desde ambos enfoques. El estudio se centra particularmente sobre el caso del desarrollo de la tecnología de Micro Sistemas Electromecánicos (MEMS) en México. De hecho, se trata de caracterizar y evaluar las redes de actores heterogéneos en el proceso de instalación y desarrollo de esta tecnología emergente en este país. Aquí cabe mencionar que este estudio se inserta en un proyecto de investigación más amplio sobre las dinámicas del desarrollo de las micro y nanotecnologías en México, durante el cual surgieron varias preguntas sobre cómo caracterizar y calificar las redes científicas y tecnológicas en las diferentes etapas del desarrollo de estas tecnologías emergentes.

Para abordar este estudio se propone movilizar la teoría del actor-red y emplear el análisis de redes sociales para representar gráficamente las redes de actores socio-técnicos que se han constituido a lo largo de la instalación de estas nuevas tecnologías en México. Para lo cual se propone la noción de redes técnico-económicas en los polos científico, tecnológico y mercado (Callon, Larédo y Rabeharisoa, 1991), con el fin de evaluar las redes científicas y tecnológicas en las diferentes dinámicas observadas en la investigación.

Los resultados nos permiten tener un panorama amplio de las redes de colaboración científica y tecnológica en el desarrollo de dispositivos MEMS en México, lo que nos ayuda a identificar los actores científicos involucrados y las relaciones entre éstos. Por otra

parte, los resultados de la encuesta de este estudio nos permiten extender el panorama de las redes de colaboración científica, ya que nos muestra los diversos actores socio-técnicos implicados en el desarrollo de esta tecnología emergente. Además, en este estudio empírico se señalan algunos factores identificados en las dinámicas de la creación de redes estudiadas lo que nos permite mejor comprender la instalación de esta tecnología en México. Finalmente, el marco metodológico propuesto en este estudio puede ser replicado en el estudio y evaluación de otras tecnologías emergentes, lo que nos aportaría elementos claves para comprender las dinámicas de los procesos observados y para la formulación de estrategias para su desarrollo.

En la primera parte del texto, se presenta una revisión de los enfoques del análisis de redes sociales y de la teoría del actor red, así como de sus alcances, límites y complementariedad entre ambos enfoques. Enseguida se explica la metodología desarrollada en este estudio. En la parte de los resultados, primero se expone una breve introducción de la emergencia de las microtecnologías en México y después los resultados son presentados en tres partes que corresponden a las diferentes dinámicas en el desarrollo de estas nuevas tecnologías en este país. Finalmente, se presentan las conclusiones del estudio.

### **Los análisis de redes en los estudios sobre la ciencia y la tecnología: alcances y límites**

Como ya se mencionó el ARS aplicado en los estudios sobre la ciencia y la tecnología se ha extendido en los últimos años. El trabajo pionero de este tipo de análisis en el campo de los estudios sociales sobre la ciencia fue efectuado por Mullins sobre el desarrollo de la biología molecular (Mullins, 1972). Trabajo en el cual el autor identifica que la formación de esta especialidad se desarrolla en cuatro fases, las cuales dan forma a la estructura social de la comunidad científica de la biología molecular. En este trabajo, Mullins establece las bases del ARS aplicado al estudio de comunidades científicas proponiendo diferentes categorías de relaciones. Actualmente en diversas disciplinas de las ciencias sociales es cada vez más común encontrar estudios que aplican el ARS, donde los datos de entrada en el análisis son principalmente las publicaciones científicas con el fin de obtener una imagen de la estructura social de una comunidad científica en particular. Estos estudios se centran sobre las co-autorías, las citas y la clasificación de las disciplinas de las revistas donde han sido publicados los artículos. En los resultados de estos análisis los nodos simbolizan a actores científicos (autores), instituciones, y disciplinas. Las relaciones están basadas en la coocurrencia de los nodos en las referencias bibliométricas, resultante de las co-autorías. Los resultados obtenidos son entonces traducidos como el reflejo de la estructura social de las comunidades científicas.

Analizar los artículos científicos con el enfoque del ARS, nos permite en efecto obtener una radiografía de la estructura social de las comunidades científicas. Este tipo de estudios nos muestra los principales actores científicos e institucionales y sus relaciones, los resultados son interpretados como redes de colaboración científica. Además, como ya mencionamos en la parte de la introducción, en los últimos años se ha aplicado este tipo de análisis a otros datos de los documentos científicos, lo que ha hecho el ARS aún más atractivo en los estudios sobre la ciencia y la tecnología. A pesar de estas diferentes aplicaciones del ARS, los resultados obtenidos de este tipo de análisis no muestran lo que hay detrás de las relaciones sociales. En otras palabras, estos ARS no nos permiten dar cuenta de como surgen y se transforman las relaciones. Tampoco nos muestran los elementos que influyen y motivan a los actores para iniciar, mantener o terminar una relación con otros actores.

Por otro lado, la TAR emergió con los trabajos de Latour (1989) y Callon (1986) quienes han propuesto de considerar a los “no humanos” como actores en la construcción de hechos científicos. Callon (1989) evoca que los trabajos en la sociología y la antropología nos han mostrado “la diversidad heterogénea de los elementos que son empleados por los científicos en el desarrollo de sus actividades”. Estos elementos son, por una parte, investigadores, técnicos y el personal administrativo que forma la fuerza de trabajo del laboratorio, la cual se caracteriza por sus habilidades y competencias. Por otra parte, hay la infraestructura del laboratorio, la cual está compuesta de instrumentos científicos y tecnológicos que utilizan los científicos para efectuar sus experimentos. Los documentos científicos que los investigadores utilizan, sea para comunicar su trabajo o conocer el de sus colegas, son igualmente parte de los elementos movilizados en los laboratorios. Además, Callon hace referencia a los fondos de financiamiento obtenidos por las instituciones como un elemento necesario para reclutar personal, adquirir nuevos instrumentos y obtener los documentos científicos que consideren indispensables para desarrollar las actividades científicas. En este enfoque, un laboratorio científico (ya sea en ciencias naturales o sociales) es visto como una red, ya que dentro de un laboratorio se articulan y movilizan los actores heterogéneos necesarios para producir un hecho científico.

El análisis TAR nos permite extender la identificación de actores que intervienen en estos procesos: actores heterogéneos. Además, a través de la descripción y el análisis etnográfico, los trabajos que se inscriben en la TAR nos aportan elementos que nos permiten dar cuenta de las dinámicas de las redes científicas y tecnológicas observadas. Es por este motivo que la propuesta en este estudio, es de emplear ambos enfoques como complementarios. Efectuar un estudio que comprenda ambos enfoques no es simple, de hecho en espacios académicos se presentan trabajos con la etiqueta de estudio de redes sociotécnicas (enfoque TAR) y los resultados se presentan visualmente en un red (enfoque ARS) sin proporcionar elementos que nos permitan dar cuenta de las dinámicas observadas en las redes.

La representación visual de las redes es atractiva, ya que a través de ésta podemos potencializar la capacidad explicativa de los estudios sobre redes. Sin embargo, en este nivel visual, en ocasiones en los resultados de algunos estudios podemos ver redes con actores no heterogéneos. La principal crítica a estos estudios es que no se trata de redes sociotécnicas, ya que no vemos los actores heterogéneos reflejados en las gráficas de las redes. Arellano (2011) atribuye este tipo de errores a los programas informáticos para el ARS, ya que según él no tienen la capacidad de tratar datos heterogéneos que nos permitan mapear sus relaciones. A pesar de que estos programas informáticos no han sido diseñados para el tratamiento de datos heterogéneos, esto no imposibilita su análisis con estos programas informáticos. Los errores que observamos en el uso de estos programas se deben en parte al mal empleo de la TAR y de las nociones teóricas y metodológicas que la acompañan. Esto se constata por ejemplo en el momento de establecer las relaciones entre los actores. De hecho, la dificultad de identificar y medir las relaciones es un tema de discusión en el marco de los estudios de redes (Grossetti, 2009; Schmidt, 2009). Se trata de un problema metodológico y para intentar sobrepasarlo, la propuesta en este estudio es aplicar los tres principios metodológicos de la sociología de la traducción: a. agnosticismo del investigador, b. simetría generalizada y c. asociación libre (Callon, 1986). Tomar en cuenta estas nociones al efectuar los estudios sobre las redes sociotécnicas se debe hacer tanto en el momento de la observación etnográfica, como de la construcción de la gráfica de las redes. Esto nos lleva a establecer una categoría de actores y relaciones desde las dinámicas mismas y al hacer el análisis simétrico tanto en el marco del TAR como del ARS.

## Objetivos e intereses heterogéneos en el interior de las redes

Regresando al interés central de este texto, la caracterización y la evaluación de las redes científicas y tecnológicas a lo largo de la trayectoria de la instalación de una nueva tecnología pretende tomar en cuenta los actores sociales, técnicos, y económicos que han sido identificados en nuestra investigación empírica. Para lo cual, se propone la noción de redes socio-técnicas para este tipo de estudio. Esta noción se inscribe en el marco de la TAR, donde Callon (1992) señala que los diferentes actores que interactúan en las redes “tienen por supuesto objetivos, proyectos, e intereses heterogéneos e incluso contradictorios”. Durante nuestro estudio empírico sobre el desarrollo de la tecnología MEMS en México, estos intereses divergentes se constataron. Aquí la pregunta que ha emergido es sobre cómo caracterizar estas redes heterogéneas para poderlas evaluar. En un trabajo publicado en un libro sobre gestión tecnológica, Michel Callon, Philippe Larédo y Volora Rabeharisoa proponen una herramienta para la evaluación de programas públicos de desarrollo tecnológico con el enfoque de redes técnico-económicas (Callo, Larédo y Rabeharisoa, 1991). Estos autores indican que en estas redes están presentes actores heterogéneos que representan diversos intereses, interactúan y se organizan en torno a tres polos: polo científico (S), polo técnico (T) y polo mercado (M)<sup>1</sup>. Esta distinción de tres polos es interesante para caracterizar el estado del desarrollo e instalación de una nueva tecnología, ya que nos permite mostrar la diversidad de configuraciones de redes de colaboración donde se interrelacionan actores que representan intereses heterogéneos. También, nos permite evaluar el estado de cada uno de los polos de los procesos de cambio tecnológico.

En este trabajo se retoma la definición de estos tres polos, con el objetivo de identificar a los actores y sus relaciones en las diferentes etapas en la trayectoria del desarrollo e instalación de la tecnología de MEMS en México. Además, es importante recordar que no sólo se trata de obtener una representación visual de las redes en cada uno de los polos con el ARS, al movilizar la TAR se busca igualmente tener elementos al caracterizar las redes que nos permitan dar cuenta de sus dinámicas.

## Metodología

Este estudio se basa en una serie de datos cualitativos y cuantitativos. Los primeros datos han sido obtenidos a partir de una encuesta sustentada en visitas a los laboratorios de investigación, en entrevistas a diversos actores implicados, y observaciones directas no participantes en algunos foros en el campo de las Micro y Nanotecnologías en México durante el periodo 2008-2010. Ha sido a lo largo de esta encuesta que se han tenido en cuenta los principios metodológicos de la sociología de la traducción. Las relaciones no han sido establecidas *a priori*, éstas han sido definidas y señaladas por los actores humanos a lo largo de las entrevistas. En algunos eventos académicos observados, también se evocaron algunos actores y sus relaciones. Las entrevistas se desarrollaron de acuerdo a una guía de entrevistas general para todos los actores en la primera entrevista efectuada, las preguntas fueron en torno a cuatro ejes para caracterizar las dinámicas del desarrollo de las micro y nanotecnologías en México. En varios casos, se efectuaron dos o más entrevistas, para las cuales se hicieron guías de entrevistas con nuevas preguntas con el objetivo de profundizar y verificar datos. A través del registro de las relaciones evocadas y del cruce de relatos de los actores entrevistados, se verificaron y constataron las relaciones y elementos claves para comprender sus dinámicas.

---

<sup>1</sup> Además, entre los tres polos mencionados los autores mencionan la existencia de interacciones que constituyen dos polos intermedios que no serán desarrollados en este trabajo: polo transferencia (ST) y polo desarrollo (TM), ver Callo, Larédo y Rabeharisoa (1991).

El segundo tipo de datos han sido obtenidos por medio de la consulta de bases de datos de publicaciones científicas y tecnológicas (artículos y patentes). También se han consultado otro tipo de fuentes como son proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, así como reportes institucionales y páginas Web. Finalmente, el ARS efectuado a los datos ha sido hecho con el apoyo del programa informático NetDraw.

## **La tecnología en MEMS y su emergencia en México**

Antes de continuar con los resultados de este estudio, es pertinente explicitar la tecnología en MEMS y su emergencia en México con el fin de contextualizar nuestro estudio. Los Sistemas Micro Electromecánicos (MEMS, por sus siglas en inglés), son dispositivos inferiores a un 1mm de largo y superiores a 1 $\mu$ m, que combinan componentes eléctricos y mecánicos, y son fabricados con tecnologías de circuitos electrónicos (Gad-el-Hak, 2001). Esta tecnología también se le conoce como microtecnología o tecnología de microsistemas y tiene sus orígenes en los años 1960 con la publicación del primer artículo científico en este campo. Una década más tarde fue cuando esta tecnología comenzó a ser cada vez más importante al comenzarse a desarrollar prototipos. Los primeros MEMS comenzaron a ser comercializados en la década de 1980, se trata de los micro-acelerómetros que fueron introducidos para activar las bolsas de aire en la industria automotriz. El desarrollo de la nanotecnología y de los materiales avanzados que hemos observado desde inicios de este siglo, ha impulsado el desarrollo de los MEMS. Esto ya que las nuevas propiedades de los materiales a escala nanométrica han aumentado las capacidades técnicas y por lo tanto permitido nuevas aplicaciones y la miniaturización de los dispositivos MEMS.

Actualmente estos dispositivos los encontramos en muchos aparatos de uso común en la vida cotidiana, y es la industria de la microelectrónica donde esta tecnología ha conocido un nicho bastante importante. Igualmente, el desarrollo de MEMS ha ocupado un lugar importante en el sector de la salud, esto al integrar a estos dispositivos materiales biocompatibles, lo que se conoce como BioMEMS. Además, en el mercado encontramos diversos productos que incluyen este tipo de tecnologías con aplicaciones en la salud, tal es el caso de lo que se conoce como “lab-on-a-chip”, que es la miniaturización de los laboratorios de análisis clínico en un chip electrónico. Estos nuevos dispositivos han permitido efectuar bio-análisis y pruebas clínicas sin que el paciente se encuentre en instalaciones hospitalarias y tener los resultados inmediatamente. El desarrollo de este tipo de dispositivos en el sector de la salud ha llamado la atención de agencias gubernamentales y de la industria farmacéutica, que buscan nuevos dispositivos para dosificar medicamentos. Incluso, tal ha sido el crecimiento en este sector, que en el año 2001 la Real Academia de Química, en Inglaterra, creó la revista científica llamada *Lab on a Chip*.

Esta tecnología también toca los sectores de telecomunicaciones, donde se han desarrollado dispositivos para los teléfonos portátiles basados en esta tecnología. El uso de los MEMS no sólo concierne aplicaciones civiles, en la industria bélica también existe un interés importante por el desarrollo de esta tecnología. De hecho, uno de los grandes laboratorios especializados en el desarrollo de MEMS con aplicaciones militares se encuentra en los Estados Unidos. Se trata de los Laboratorios Nacionales Sandia, localizados en el Estado de Nuevo México y conocidos por sus desarrollos científicos y tecnológicos en torno al armamento.

La emergencia de esta tecnología en México es situada a inicios de este siglo, donde la Fundación México – Estados Unidos por la Ciencia (FUMEC, por sus siglas en español) ha sido el principal promotor. Este organismo no gubernamental, transfronterizo y con orígenes filantrópicos, ha llevado a cabo desde entonces diversas iniciativas para la

instalación de infraestructuras científicas y tecnológicas, la formación de recursos humanos, la comercialización y la diseminación de la tecnología MEMS en México. Las iniciativas del programa de microsistemas de la FUMEC, así como sus funciones en la instalación y el desarrollo de esta tecnología en este país, han sido estudiadas en un trabajo previo (Robles-Belmont, 2011; Robles-Belmont y Vinck, 2012). Donde se ha mencionado que a inicios de este siglo no existía ninguna infraestructura científica y prácticamente recursos humanos nulos para el desarrollo de MEMS en México. En el año 2008, cuando inició esta investigación ya existían alrededor de 14 centros de investigación donde se realizan actividades científicas y tecnológicas para la concepción y desarrollo de dispositivos MEMS. El primer artículo producido en México fue publicado en el año 2002, y para el año 2009 ya se habían publicado al menos 25 artículos sobre este tema en este país.

### **Polo científico en el desarrollo de la tecnología en MEMS en México**

Al caracterizar el polo científico, es común solamente tomar en cuenta los artículos científicos publicados en el campo en estudio. En este estudio, al efectuar la encuesta se caracterizó la trayectoria de la instalación de la tecnología en MEMS en México desde sus inicios, donde identificamos actores diferentes a los provenientes del mundo académico: políticos, funcionarios públicos y empresarios.

De las iniciativas creadas por la FUMEC para el desarrollo de MEMS en México, dos han sido orientadas hacia la creación de condiciones favorables para el desarrollo de MEMS. Se trata de dos iniciativas clave para la instalación de infraestructuras científicas: la red de Centros de Diseño en MEMS (CD-MEMS) y la red de Laboratorios de Innovación en MEMS (LI-MEMS).

La primera, la red CD-MEMS, es una red de centros de diseño en MEMS creada por la FUMEC en el 2003 con el fin de instalar en el país infraestructura para el diseño de dispositivos MEMS. Durante la creación de esta red de colaboración, dieciocho entidades académicas y de investigación fueron identificadas. De las cuales, doce son mexicanas y el resto estadounidenses. Las entidades mexicanas son las que respondieron a la convocatoria de la FUMEC para conformar la red CD-MEMS, sin embargo, sólo diez entidades lograron concretar la instalación de los centros de diseño. Para participar en la red CD-MEMS, los departamentos o grupos de investigación debían tener el apoyo económico de sus instituciones de investigación, ya que la instalación de los equipos de diseño ha requerido la adaptación o la construcción de instalaciones. Esto requirió la implicación de varios órganos de las instituciones académicas.

Por otra parte, al inicio de la red CD-MEMS, la formación de investigadores mexicanos ha requerido de la intervención de investigadores y especialistas en el diseño de MEMS de diversas entidades académicas y de investigación estadounidenses. Movilizar a los investigadores para la formación ha sido necesario la disponibilidad de recursos económicos. Por parte de los investigadores mexicanos, los desplazamientos fueron financiados por las instituciones donde están adscritos. Los desplazamientos de los investigadores provenientes de Estados Unidos, fueron financiados por la FUMEC. La compra de los equipos de computo fue financiada por la Secretaría de Economía de México (SE), las negociaciones para la obtención de este financiamiento y su gestión fue asegurado por la FUMEC.

La red LI-MEMS fue creada en el 2004 por la FUMEC con el objetivo de continuar con la instalación de infraestructuras para el desarrollo de MEMS en México. En esta segunda red, los laboratorios están destinados a la fabricación y caracterización de los dispositivos

MEMS. Un total de tres laboratorios fueron instalados; uno en la Facultad de Ingeniería de la UNAM (UNAM-FI), otro en las instalaciones del INAOE y el tercero en el Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Aplicada de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ-CICTA). La construcción de estos tres laboratorios fue apoyada financieramente por la SE, el Gobierno del Estado de Puebla (Gouv-PUEBLA), el Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Gobierno de Ciudad Juárez (Gouv-Cd-Juarez).

Estas dos redes de colaboración, en tanto que iniciativas, son representadas por un triángulo amarillo en la imagen 1. Los diez CD-MEMS están localizados en las entidades relacionadas (círculos rojos) al nodo que representa esta red. Las tres entidades donde se instalaron los LI-MEMS, también son parte de la CD-MEMS. Estas dos redes son directamente relacionadas en la imagen con la FUMEC (representada por un rombo de color naranja). Las entidades públicas mexicanas que han financiado la instalación de las infraestructuras son representadas con un cuadro azul. Los investigadores que participaron en la formación de mexicanos en estas iniciativas provienen de las entidades académicas y de investigación estadounidenses (representadas con un triángulo invertido de color verde) que están relacionadas directamente a la FUMEC.

En el polo científico también son presentes actores con intereses económicos. Por ejemplo, el organismo internacional MANCEF es uno de estos actores en el polo. La FUMEC es miembro activo de este organismo internacional y ha usado reportes, estudios de mercado, RoadMaps, entre otros documentos producidos por la MANCEF para argumentar que el desarrollo de la tecnología en MEMS es una ventana de oportunidades para México en términos económicos. Además, este organismo internacional es tomado en cuenta como un actor económico porque uno de sus objetivos es la comercialización de productos basados en la micro y nanotecnología, entre los cuales encontramos los MEMS, y esto se trata de un objetivo económico.

Otro actor que catalogamos como económico, es la empresa Motorola, que ha hecho la donación de una línea de fabricación de circuitos integrados al INAOE en el marco de la iniciativa llamada “Latinchip”, creada en 1990. La donación de esta infraestructura tecnológica comenzó en el 2000, se concretizó en el 2003 y fue anunciada como una acción para el apoyo del desarrollo tecnológico en América Latina (INAOE, 2003; CONACYT, 2004). Esta línea de fabricación de circuitos integrados ya era obsoleta para la industria de la microelectrónica en el momento de la donación. Sin embargo, para fines académicos, el equipo donado representa un excelente equipo tecnológico para desarrollar actividades para la fabricación de prototipos en MEMS. La donación de esta línea de fabricación fue hecha, ya que la empresa Motorola vendió su sitio de producción localizado en Zapopan, Estado de Jalisco, en el año 2000 a la empresa On Semiconductor que finalmente cerró la fábrica en el 2002 (Jaén, 2005). Para Motorola hacer esta donación representó un regreso económico vía los impuestos. Otra parte de la infraestructura de Motorola fue enviada igualmente como donación a la Universidad de São Paulo y la Universidad del Estado de Campinas, en Brasil (ISTEC, 1999).

En el polo científico también hemos tomado en cuenta las publicaciones científicas (artículos publicados por al menos una institución mexicana). En la imagen 1 se muestran las publicaciones en el periodo estudiado y las entidades académicas y de investigación. Las redes científicas resultantes de las publicaciones científicas muestran la presencia de instituciones donde igualmente se efectúan actividades para el desarrollo de las microtecnologías y que no han participado en las iniciativas del programa de MEMS de la FUMEC.

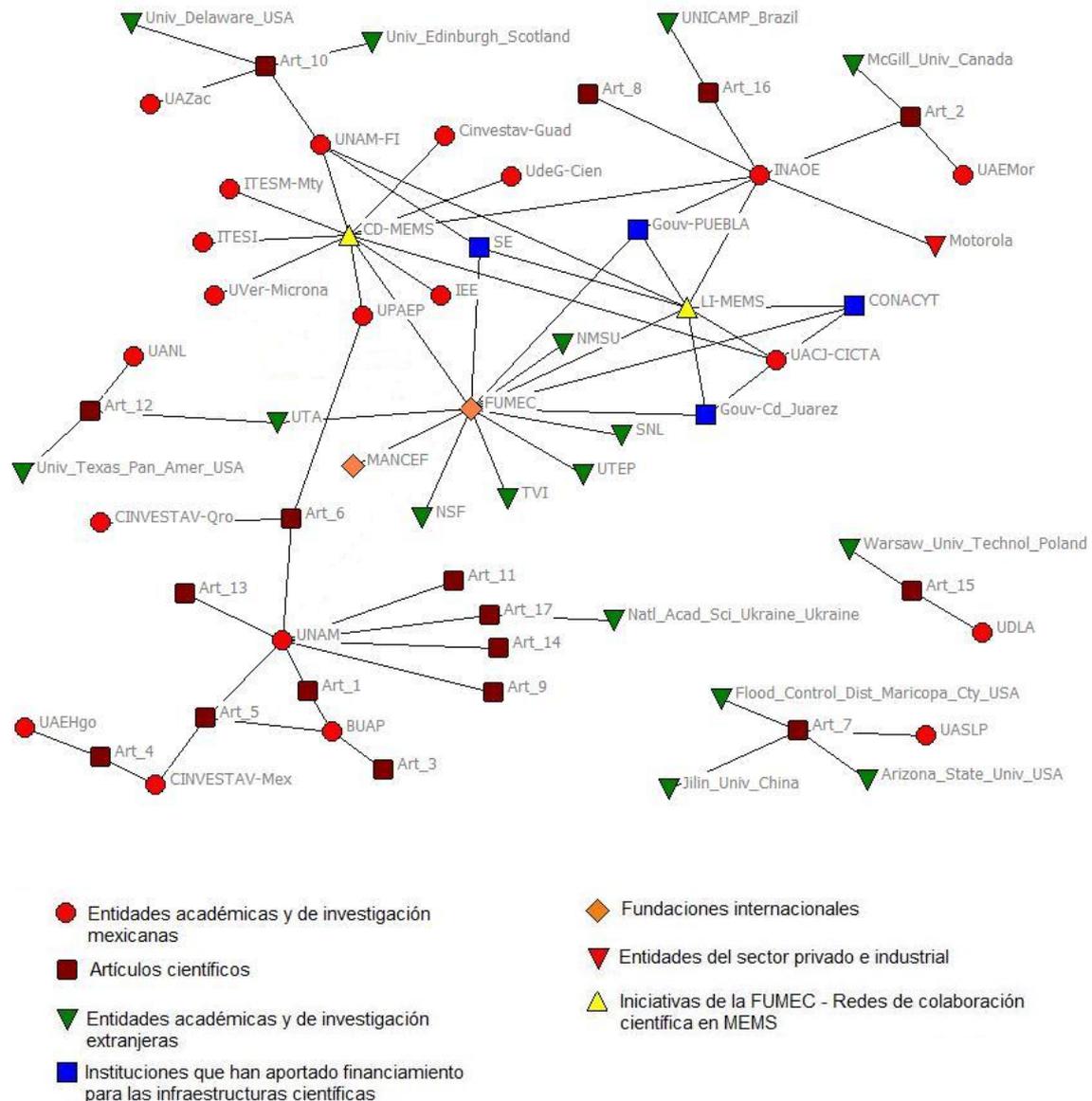


Imagen 1. Redes de colaboración en el polo científico en el desarrollo de la tecnología en MEMS en México. Fuente: Construcción propia.

### Polo técnico en el desarrollo de la tecnología en MEMS en México

De acuerdo con Callo, Larédo y Rabeharisoa (1991), el polo técnico es el espacio donde hay lugar a “la concepción y elaboración de dispositivos materiales dotados de una coherencia propia (...) y capaces de hacer servicios específicos”. En el programa de microsistemas de la FUMEC están orientadas al desarrollo de dispositivos MEMS. Al momento de la encuesta efectuada, pocos proyectos de dispositivos MEMS habían sido desarrollados. Sin embargo, todas las iniciativas que forman el programa de microsistemas de la FUMEC están consagradas hacia el establecimiento de relaciones entre actores del sector académico y productivo en torno al desarrollo de aplicaciones de los MEMS.

La primera de estas iniciativas ha sido la creación del Centro de Articulación Productiva de MEMS (CAP-MEMS). Esta iniciativa fue creada en el 2004 y financiada por la Secretaría de Economía, por medio de tres financiamientos en el marco del Fondo PYMES entre los años 2004 y 2006. Entre los objetivos del CAP-MEMS encontramos los de identificar y apoyar proyectos de nuevos productos MEMS, identificar ventanas de oportunidad en la

aplicación de MEMS en México e identificar proyectos conjuntos con empresas privadas en este campo. Estos objetivos se confirman en uno de los reportes de la FUMEC, donde dice que el CAP-MEMS tiene el objetivo de “facilitar vínculos entre empresarios, académicos y tomadores de decisiones con el fin de generar colaboraciones que permitan el desarrollo de nuevos productos y negocios” (FUMEC, 2006:27). Las actividades llevadas a cabo en esta iniciativa han sido orientadas para cumplir estos objetivos. Estas actividades son, por ejemplo, fórums entre empresarios y tecnólogos en el campo de la microtecnología. Los fórums han sido organizados en función de los sectores estratégicos identificados en estudios de prospectiva y vigilancia tecnológica de la FUMEC. Estas actividades no son negligentes, en el 2004, por ejemplo, se efectuaron un total de once fórums: tres en el sector de telecomunicaciones, cuatro en salud (BioMEMS), dos en energía y dos en empaquetamiento de MEMS. Actualmente el CAP-MEMS es presentado y considerado como un *spin-off* de la FUMEC. A partir de las presentaciones hechas por el CAP-MEMS, de reportes de actividades de la FUMEC, y de informaciones recogidas en las entrevistas y visitas a los laboratorios, fue posible identificar diversos actores que han participado en las actividades de esta iniciativa para promover el desarrollo de los MEMS y las colaboraciones entre el sector académico y el productivo. Las redes resultantes del análisis de estos datos se muestran en la imagen 2.

La red de la iniciativa CAP-MEMS, que está representada en la imagen 2, está constituida por los cuatro fórums organizados. Los actores presentes en estas redes son heterogéneos, donde encontramos instituciones nacionales de investigación (IIE e ITESM-Mty) y una internacional (UTEP), organismos públicos (Gobiernos de Nuevo León, Jalisco, INSP, SE, CFE y LAPEM) y privados (CANIETI y Delphi), así como un organismo no gubernamental de carácter filantrópico (FMS). En estas redes podemos notar, que la FUMEC por medio del CAP-MEMS ha tenido la función de facilitar el acceso a los recursos para la creación del espacio de encuentro para los diversos actores, propicios para el surgimiento de nuevas relaciones en torno de la concepción y del desarrollo de dispositivos MEMS.

Por otra parte, en las redes del polo técnico mostradas en la imagen 2, se muestra igualmente la red técnico-económica en torno a la concepción y desarrollo de un dispositivo MEMS solicitado por una empresa privada para una aplicación precisa. Se trata del proyecto de la concepción y fabricación de un micro-sensor magnético y de un sistema para el monitoreo de campo magnético en el proceso de fabricación de tubos de acero para la industria de extracción de petróleo. Este dispositivo se desarrolló en las instalaciones del laboratorio Microna, localizadas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana. Después de un primer encuentro con la empresa Tenaris Tamsa, esta mostró su interés por las capacidades técnicas de los MEMS. Una serie de reuniones entre los ingenieros de Tamsa y los investigadores de Microna tuvieron lugar, durante las cuales se definió las necesidades técnicas del dispositivo. El resultado ha sido la concepción y el desarrollo del sensor magnético (MEMS\_SensorMagnet, ver imagen 2), basado en dos patentes (representadas en la imagen 2 como Patente\_1 y Patente\_2). Más tarde, los investigadores de Microna desarrollaron el sistema para el tratamiento de datos obtenidos en el monitoreo del campo magnético en la construcción de tubos sin costura para la extracción del petróleo y ser traducidos y mostrados en un monitor a los operadores en la fabricación de los tubos. El financiamiento para lograr el desarrollo de ambos objetos técnicos (el sensor y el programa informático para el monitoreo de datos) fue aportado por cuatro entidades: Tamsa, SEP-Promep, FUMEC, y SE. El aporte financiero por parte de la FUMEC y de la SE fue realizado en el marco del CAP-MEMS.

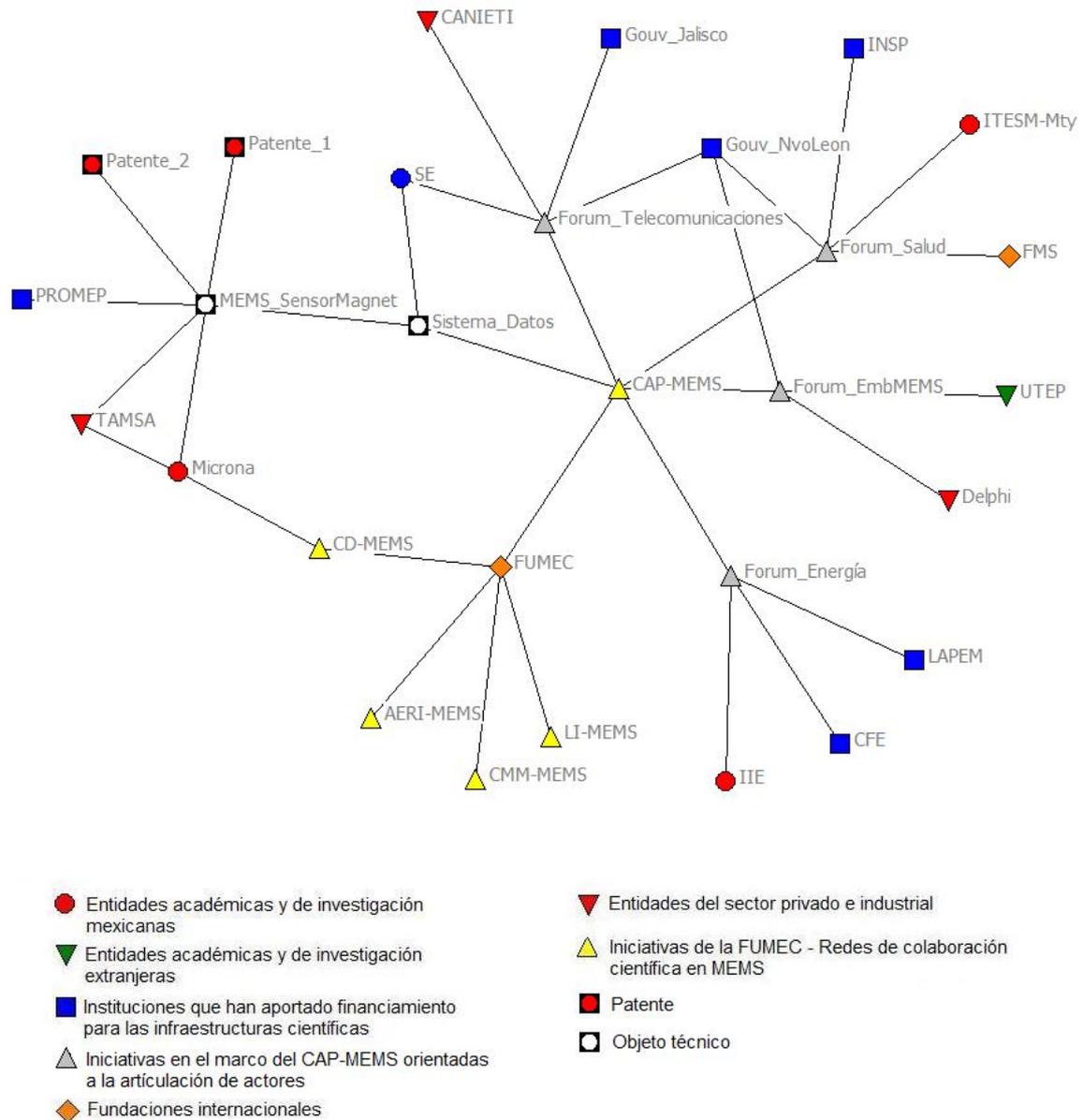


Imagen 2. Redes de colaboración en el polo técnico en el desarrollo de la tecnología en MEMS en México. Fuente: Construcción propia.

### Polo mercado en el desarrollo de la tecnología en MEMS en México

En la definición del polo mercado propuesta por Callon, Larédo y Rabeharisoa (1991), este polo corresponde “al universo de los usuarios. No se trata del mercado de la teoría económica, que es el encuentro de la oferta y la demanda, sino del mercado de los practicantes que describen esencialmente el estado de la demanda”. Según estos autores, a través de las redes existentes en este polo, se produce y circula “la información más o menos legible, más o menos explícita sobre la identidad de los usuarios y lo que éstos esperan”. En este caso, lo que interesa a este trabajo es situar el lugar de los actores en las relaciones e interacciones entre los productores de este tipo de información y los usuarios potenciales (o consumidores) de la tecnología MEMS.

En el polo técnico, se habló del espacio de encuentro entre los productores de conocimientos y los potenciales usuarios de éstos, espacio creado en el marco de la iniciativa CAP-MEMS de la FUMEC. Estos espacios se concretaron en los diferentes foros efectuados, donde actores científicos y tecnólogos expusieron sus habilidades y capacidades científicas y tecnológicas para el desarrollo de los MEMS a potenciales usuarios (actores del sector productivo), quienes igualmente expresaron posteriormente sus necesidades.

Otras iniciativas del programa de microsistemas de la FUMEC han sido orientadas a crear estos espacios de encuentro entre actores productores de conocimiento y potenciales usuarios. Tal es el caso del Consorcio Mexicano de Microsistemas (MMC, por sus siglas en español), creado en el año 2007 y que tiene como objetivo principal “promover la competitividad en las empresas y los centros de investigación a través del uso de microsistemas”. El CMM está conformado por una parte de actores institucionales orientados a la producción de conocimientos en el campo de los MEMS (veintiuno centros e institutos académicos y de investigación), y por otra parte de actores mexicanos del sector productivo (cinco empresas privadas). Las acciones del CMM van más allá de la tecnología de microsistemas, esto ya que a través de estudios de prospectiva y de vigilancia tecnológica, la FUMEC identificó dos tecnologías emergentes muy cercanas a los MEMS: tecnología FPGA y sistemas embebidos<sup>2</sup>. En la imagen 3, se presentan las redes técnico-económicas caracterizadas en el polo mercado, donde vemos los actores heterogéneos identificados y sus relaciones, entre los cuales podemos contar las otras iniciativas del programa de microsistemas que igualmente han desarrollado actividades en el polo mercado.

Otra iniciativa que nos parece interesante analizar en este polo es la Alianza Estratégica y Redes de Innovación en MEMS (AERI-MEMS). Iniciativa lanzada en el 2008 y que se inscribe en el programa AVANCE del CONACYT, para la creación de alianzas y redes de colaboración entre instituciones de investigación y de empresas para aumentar su competitividad en su sector. La propuesta de crear una AERI-MEMS surgió del CMM y de la FUMEC, además de la creación de otras dos AERI. En la red de la AERI-MEMS que se muestra en la imagen 3, se muestran las diez instituciones académicas y de investigación y las cinco empresas privadas que hacen parte de esta alianza. En esta iniciativa también se presenta la colaboración con los Laboratorios Sandia (de Estados Unidos) y el Consorcio Canadiense de Microsistemas (CCM, por sus siglas en inglés). En el marco de la AERI-MEMS se ha apoyado el desarrollo de tres proyectos. Uno es sobre una cámara para digitalizar (escanear) objetos en 3D, producto desarrollado por la empresa Prefixa Vision Systems, SA de CV creada en el 2006 por jóvenes tecnólogos egresados del INAOE. Dos años más tarde, en el seno de esta misma empresa se desarrolló el proyecto de una nueva cámara llamada Orbiter 3D, para lo cual la empresa Prefixa obtuvo el apoyo y consultoría del TechBA-Silicon Valley para presentar su proyecto ante el programa del Fondo de Innovación Tecnológica del CONACYT y de la Secretaría de Economía. El proyecto se efectuó con estos fondos y logró ser comercializada la cámara en cuestión. Más tarde, en el 2010, un tercer proyecto para una cámara destinada a digitalizar dispositivos MEMS fue formulado y financiado por el CONACYT y la SE. Igualmente es importante mencionar, que la empresa Prefixa ha tenido desde su creación del apoyo científico por parte de investigadores del INAOE, institución que también participa en el tercer proyecto.

---

<sup>2</sup> Un FPGA (field-programmable gate array), o un circuito lógico programable, es un componente electrónico que puede ser programado después de su fabricación con el fin de ser utilizado en diferentes sistemas electrónicos. Un sistema embebido (embedded system) se define como un sistema electrónico e informático autónomo y es destinado a una aplicación precisa, sin la posibilidad de ser programado como un FPGA.

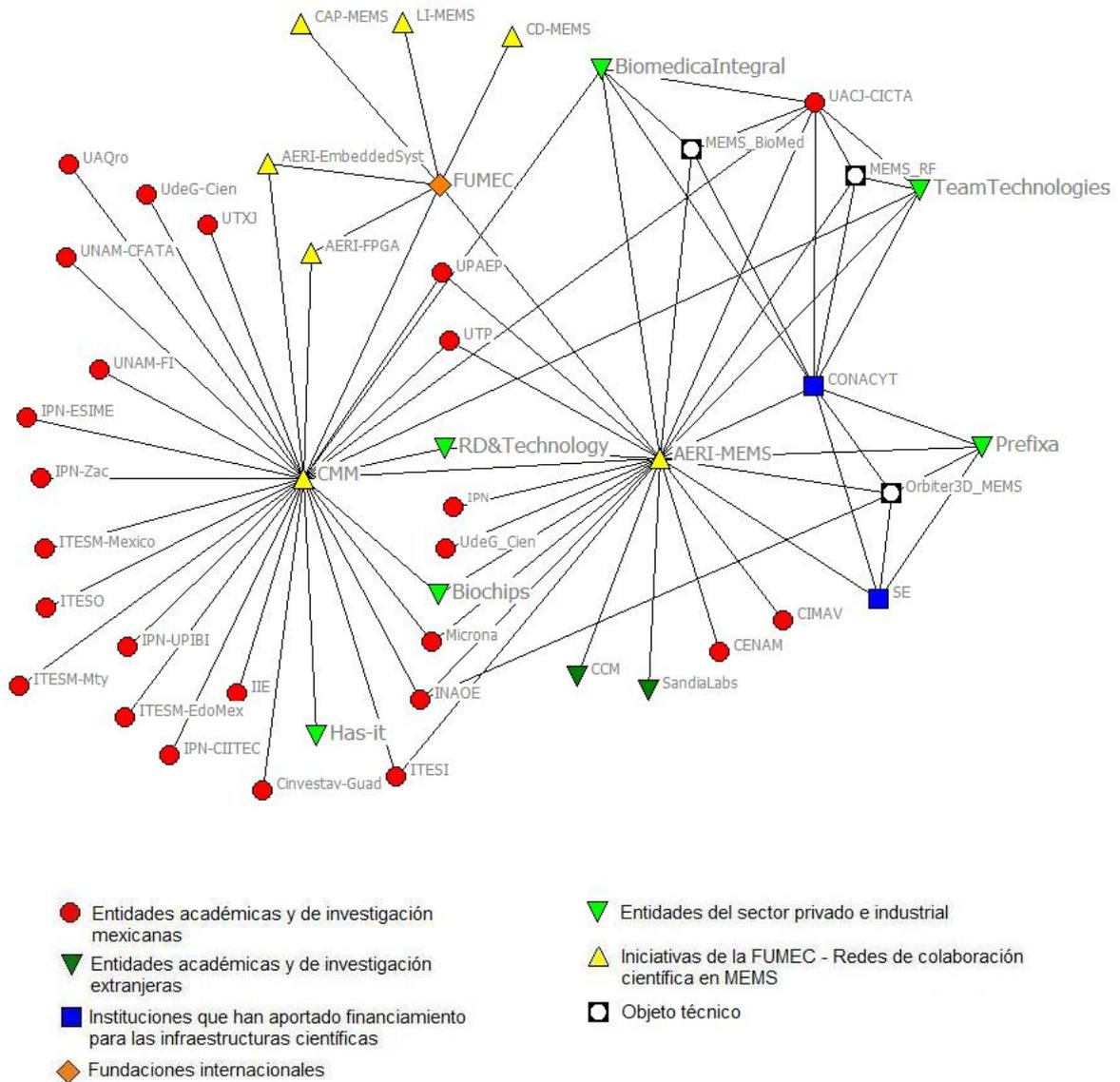


Imagen 3. Redes de colaboración en el polo mercado en el desarrollo de la tecnología en MEMS en México. Fuente: Construcción propia.

El tercer proyecto identificado es el desarrollo de un dispositivo de interruptores basado en la tecnología de RF-MEMS. Una de las aplicaciones de este tipo de dispositivos es en la industria de la telefonía portátil. El dispositivo MEMS desarrollado ha sido objeto de una patente. El financiamiento para su desarrollo viene parcialmente del CONACYT, y ha sido desarrollado en colaboración por investigadores del CICTA de la UACJ y de la empresa Team Technologies, localizada en Ciudad Juárez, Chihuahua.

Un tercer proyecto de innovación en MEMS, que se ha desarrollado en el marco de la AERI-MEMS, es un sistema biomédico basado en la microtecnología para el monitoreo de flujos respiratorios en los neonatos. El proyecto tiene sus orígenes en la empresa Biomedical Integral, PyME de base tecnológica localizada en el Estado de Puebla y especializada en la fabricación y comercialización de incubadoras prenatales. El financiamiento para este proyecto ha sido aportado por el CONACYT y el desarrollo tecnológico efectuado por el CICTA-UACJ.

En la imagen 3, se muestran las redes técnico-económicas creadas y movilizadas en el desarrollo de los dispositivos MEMS que se han mencionado. En estas redes se muestran los objetos técnicos (dispositivos MEMS) y sus relaciones con los diferentes actores que intervinieron para su desarrollo tanto del lado de la oferta como de la demanda. Cabe mencionar que en estas redes las instituciones gubernamentales presentes han tenido la función de financiamiento y la FUMEC de intermediario entre estas instituciones por un lado y las empresas e instituciones académicas y de investigación por el otro lado.

## Conclusiones

En este artículo se presentaron los resultados de un estudio de redes de colaboración científica y tecnológica en el desarrollo de la tecnología en MEMS en México. El marco del análisis en este estudio se ha basado en la noción de red dentro de dos enfoques diferentes: Teoría del Actor-Red y Análisis de Redes Sociales. La noción de red técnico-económica se ha empleado con el fin de hacer una distinción entre las diferentes dinámicas en los procesos de instalación y desarrollo de una nueva tecnología. Los resultados han sido por una parte expresados desde una perspectiva visual (gráficas de redes), lo que permite situar la posición de actores heterogéneos en las diferentes redes mostradas. Por otra parte, la descripción cualitativa de las redes técnico-económicas aporta ciertos elementos para comprender las dinámicas que hemos observado en cada uno de los tres polos analizados. Los aspectos metodológicos han sido centrales en este estudio para lograr obtener estos resultados. Esto no ha permitido caracterizar los actores y sus relaciones a partir de las definiciones de las tres dinámicas analizadas, expresadas en los polos científico, técnico y mercado. Cabe mencionar que estos resultados no pretenden ser exhaustivos, ya que otros trabajos sobre la emergencia de nuevas tecnologías pueden enriquecer la comprensión de sus dinámicas.

La metodología empleada en este estudio como herramienta para la evaluación de la instalación y desarrollo de nuevas tecnologías puede ser aplicada en otros casos. Hacer un análisis en cada uno de los polos es interesante para conocer el estado de desarrollo de nuevas tecnologías en sus diferentes niveles y dimensiones (expresados en este trabajo a través de los tres polos). Los resultados constituyen información que puede servir para la toma de decisiones estratégicas durante el desarrollo de nuevas ciencias y tecnologías.

Además, caracterizar las diferentes configuraciones de las redes colaborativas en los tres polos analizados permite no solo identificar la diversidad de actores presente, también nos permite identificar factores o elementos que nos indiquen los patrones de las dinámicas en las diferentes etapas de la instalación y desarrollo de una nueva tecnología. En los resultados presentados, las redes mostradas son consideradas como una radiografía de las estructuras socio-técnicas en las diferentes dinámicas. Sin embargo, ha quedado fuera de los alcances de este trabajo hacer un estudio dinámico de estas redes para evaluar su evolución en el tiempo, así como aplicar algunas mediciones estructurales del análisis de redes sociales, como pueden ser las diferentes medidas de centralidad. Esto constituye un punto a ser desarrollado en el marco de la investigación sobre la emergencia de nuevas ciencias y tecnologías.

## Referencias

Albornoz, M.; Fernández, P. E. Indicadores de ciencia y tecnología Iberoamericanos / Interamericanos. **REDES**, v. 3, n. 7, p.193-215, 1996.

- Arellano, A. Mapeando las redes de investigación tecnocientífica de la Universidad Autónoma del Estado de México. In Arellano, A. **Tramas de redes sociotécnicas. Conocimiento, técnica y sociedad en México**. Edit. UAEM y Porrúa, p. 221-247, 2010.
- Callon, M. (dir). **La science et ses réseaux: genèse et circulation des faits scientifiques**. Éd. La découverte, Paris, p. 214, 1989.
- Callon, M. Algunos elementos para una sociología de la traducción. La domesticación de las vieiras en la bahía de Saint Briec. En: Iranzo et al. **Sociología de la ciencia y la tecnología**. Madrid, CSIC, p. 259-282, 1995.
- Callon, M. Sociologie des sciences et Economie du changement technique: l'irrésistible montée des réseaux technico-économiques. En **L'INNOVATION CDS**. (ed.) Ces réseaux que la raison ignore. Paris, L'Harmattan, p.53-78, 1992.
- Callon, M. ; Laredo, P. ; Rabeharisoa V., Gestion des programmes publics et réseaux technico-économiques. En Vinck, D. (coord.). **Gestion de la recherche: nouveaux problèmes, nouveaux outils**, De Boeck, p. 280-307, 1991.
- CONACYT. INAOE y Motorola trabajarán para establecer el laboratorio nacional de nanotecnología, comunicado de prensa 02/04, **CONACYT**, 21 janvier 2004, 2004. Disponible en línea: <http://www.conacyt.mx/comunicacion/comunicados/02-04.html>
- Grossetti, M. ¿Qué es una relación social? Un conjunto de mediaciones diádicas. **REDES – Revista hispana para el análisis de redes sociales**, v. 6, n. 2, 2009.
- Grossetti, M. Reflexiones en torno a la noción de red. **Redes**, v. 12, n. 25, p. 85-108, 2007.
- INAOE. **Anuario 2003**. CONACYT, p.55. 2003.
- Jaén, J. B. El clúster de la electrónica de la región metropolitana de Guadalajara: un análisis comparativo. **Carta Económica Regional**, Universidad de Guadalajara, No. 91, 2005.
- Kamada, T.; Kawai, S. An algorithm for drawing general undirected graphs. **Information Proceeding Letters**, v. 31, p. 7-15, 1989.
- Moed, H. F. ; Glänzel, W.; Schmoch, U. (Eds.). **Handbook of Quantitative Science and Technology Research**. The Use of Publication and Patent Statistics in Studies of S&T Systems, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- Morillo, F.; Aparicio, J. Características y disparidades entre sub-especialidades: un estudio de caso con grupos de Biotecnología. **Revista Española de Documentación Científica**, v. 34, n. 4, p. 563-580, 2011.
- Mullins, N. The Development of a Scientific Speciality: the Phage Group and the Origins of Molecular Biology. **Minerva**, v. 10, n. 1, p. 51-82, 1972.
- OECD. **Main Science and Technology Indicators**. Vol. 2007/1. Paris : OECD, 2007.
- Rafols, I.; Porter, A. L.; Leydesdorff, L. Science Overlay Maps : A New Tool for Research Policy and Library Management. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 61, n. 9, p. 1871-1887, 2010.
- Robles-Belmont, E.; Vinck, D. Organismos filantrópicos y no gubernamentales en el desarrollo de nuevas ciencias y tecnologías: el caso de las micro y nanotecnologías en México. **Revista Tecnología e Sociedade**, n. 15, p.45-70, 2012.
- Schmidt, S. La dificultad de medir. **REDES – Revista hispana para el análisis de redes sociales**, v.17, n.7, 2009.

Van Eck, N.J.; Waltman, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.

Waltman, L.; van Eck, N. J. A new methodology for constructing a publication-level classification system of science. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 63, n. 12, p. 2378-2392, 2012.