

## INNOVACIÓN EN MÉXICO Y CHINA. ANÁLISIS COMPARATIVO SUSTENTADO EN ESTUDIOS DE CASO DE LOS SISTEMAS MICROELECTROMECÁNICOS (MEMS)

Yalú Maricela Morales Martínez

Universidad Autónoma Metropolitana, Maestría en Economía, Gestión y Políticas de Innovación, México  
ymmzug@gmail.com

### RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio comparativo entre China y México sobre la innovación en los procesos y productos dentro del marco de la cadena de valor de los Sistemas Micro Electromecánicos (MEMS), los cuales hacen posible los sistemas y productos que usualmente utilizamos para trabajar, comunicarnos, viajar, entretener, aprovechar la energía, tratar enfermedades y hacer nuevos descubrimientos científicos. Los estudios de caso de ambos países que sustentan la comparación se documentan a partir de proyectos incubados dentro de la universidad, institución capaz de realizar la investigación básica o de exploración con horizontes de largo plazo.

**Palabras clave:** *Cadena de valor, Innovación frugal, Innovación tardía, Proceso interpretativo de la innovación.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La industria electrónica a raíz de la crisis económica mundial de 2001-2002 experimentó una profunda reestructuración a nivel global. México en particular transitó de un modelo de producción de alto volumen-baja mezcla (*high volume-low mix*) a uno de bajo volumen-alta mezcla (*low volume-high mix*), enfilando sus actividades electrónicas hacia la producción de nuevos productos y procesos de mayor complejidad tecnológica (Dabat, Ordoñez y Rivera: 2005, Dussel Peters: 2003/a, Palacios Lara: 2008). Mientras que China por su parte, se convirtió en el receptor de la relocalización de varias actividades principalmente de alto volumen y bajo valor agregado anteriormente realizadas en México. Bajo el panorama de una competencia más álgida, se planteó la interrogante acerca del grado de desplazamiento que China podría infringir en algunos sectores de la industria electrónica mexicana o desde una prognosis muy positiva esperar que los procesos de innovación en México fueran lo suficientemente importantes para resguardar ciertos nichos específicos. En cualquiera de los casos, habría que preguntarse: ¿Qué segmentos están impulsando la cadena electrónica de valor? ¿En qué consiste la innovación de estos nichos o segmentos? ¿Qué estrategias territoriales se están emprendiendo por ambos países para apropiarse del valor agregado?

En la medida en que los países han desarrollado sus capacidades industriales, las barreras a la entrada en la producción han disminuido y por ende la tensión de la competencia se ha

incrementado, induciendo la búsqueda de nuevas formas de generar ganancias por los participantes de la cadena global de valor. El incremento de la intensidad tecnológica desde el siglo XIX y el crecimiento de la diferenciación de productos desde 1970 ha dado lugar a que las empresas busquen “convertir nuevas ideas, invenciones y descubrimientos de nuevas combinaciones de recursos existentes” en nuevos productos, servicios, procesos y modelos de negocios para la obtención de ganancias extraordinarias (Ernst, 2009; Kaplinsky, 2000).

En primera instancia, podría decirse que la innovación implica un proceso continuo y acumulativo gestionado por las empresas para mejorar productos y procesos o bien mejoras organizacionales, con la finalidad de incrementar la productividad y competitividad. No obstante, la innovación no sólo se circunscribe al ámbito de la empresa, sino que involucra a otros agentes sociales fundamentales para la generación de infraestructura tecnológica. La idea alrededor del progreso tecnológico como motor de desarrollo de las fuerzas productivas se ha sustentado en un sistema científico tecnológico de carácter instrumental, de forma que el conocimiento técnicamente utilizable se concibe en un espacio activo de colaboración entre diversas entidades: centros de investigación, empresas y Estado.

La tecnología estudiada o Sistemas Micro Electromecánicos (MEMS) son dispositivos integrados por elementos mecánicos (partes móviles) y electrónicos (o eléctricos) que funcionan como sensores<sup>1</sup> y actuadores<sup>2</sup> de tamaño micrométrico (una milésima de milímetro), fabricados por medio de técnicas y materiales similares a los utilizados en los semiconductores. La tecnología MEMS ha irrumpido en un conjunto variado de industrias y su ubicuidad en la vida cotidiana se percibe desde un dispositivo capaz de medir la aceleración a la que se somete el mando del Wii (videoconsola de la empresa japonesa Nintendo), el acelerómetro que igual opera en las bolsa de aire anti-impacto de los autos; formando parte del sistema de control de un marcapasos; en los cabezales de las impresoras de inyección de tinta, cuyo dispositivo produce la evaporación controlada de la tinta en el momento justo; o hasta en pequeños espejos montados sobre soportes móviles, con un tamaño mucho menor al diámetro de un cabello, capaces de enfocar o corregir una imagen (Palazzesi, 2008). Constituyen parte del sector de los semiconductores (básicamente *microchips* que controlan los dispositivos electrónicos), que desde hace más de seis décadas hacen posible los sistemas y productos que usualmente utilizamos para trabajar, comunicarnos, viajar, entretener, aprovechar la energía, tratar enfermedades y hacer nuevos descubrimientos científicos.

La aportación de los MEMS de acuerdo con IC Insights en la industria de los semiconductores, representaron el 18.8% en 2015, en comparación al 15.3% en 2005 y el 12.7% en 1995 (Blouin, Mosier y Lang, 2016:13). Algunos visionarios han previsto a futuro un crecimiento vertiginoso que permita alcanzar y superar el mercado de los semiconductores de 2011, calculado en 300 mil millones de dólares. Al respecto, Janusz Bryzek cofundador de ocho empresas seminales de MEMS en *Silicon Valley* y actual vicepresidente de *Fairchild Semiconductor*, funda tal optimismo en el programa *Central Nervous System for the Earth* de *Hewlett-Packard*, empresa que propone una red de detección planetaria construida con miles de millones de sensores y actuadores para los siguientes mercados: control del clima, exploración y producción de petróleo,

---

<sup>1</sup> Los sensores reúnen o detectan información del entorno a través de la medición de fenómenos mecánicos, térmicos, biológicos, químicos, ópticos, magnéticos u otros.

<sup>2</sup> Los actuadores son los que responden o actúan de acuerdo a la información (transformando la energía en movimiento, posicionamiento, bombeo, o filtrado) dependiendo el caso que resulte del análisis realizado por la electrónica del sistema.

seguimiento en las cadenas de suministro, infraestructura vial inteligente, prevención de terremotos y tsunamis, red inteligente en hogares y vigilancia de la salud. El procesamiento de información de tales sensores requeriría incrementar 1000 veces el tamaño de internet, disparando la demanda global de sistemas de detección en 70 mil millones de dólares y generando adicionalmente en servicios derivados 290 mil millones de dólares en valor agregado. No menos optimista es la perspectiva para el año 2017 de Horst Muenzel, consejero delegado y director general de la empresa Akustica, programando el consumo de 7 mil millones de dispositivos MEMS que conformen enjambres de sensores conectados a internet para una población de 7 mil millones de usuarios. La multiplicación de los sensores para tales sistemas inteligentes se pronostica alcanzará un millón de millones de unidades para el año 2022 (Bryzek, 2012; Bryzek y Roundy, 2012).

El trabajo consta de seis apartados: en el primer apartado se presenta la introducción, exponiendo posteriormente la metodología utilizada y después un breve marco conceptual para hilvanar las ideas principales en torno a la innovación, en el cuarto apartado se establece una configuración aproximada de la cadena de valor de los MEMS a nivel global, en el quinto apartado se presenta en forma esquemática los resultados del estudio comparativo en relación al proceso de innovación de la tecnología MEMS en cada país y por último se incluyen las conclusiones.

## **2. METODOLOGÍA**

En este trabajo se presenta un estudio comparativo de proyectos de investigación con tecnología MEMS realizados en instituciones académicas de México y China, específicamente en el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) de Juriquilla, Querétaro, y *MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University*, respectivamente. Para lo cual se empleó como principal metodología la documentación de estudios de caso a través de entrevistas con especialistas del tema en ámbitos desde centros de investigación especializados hasta actores institucionales que impulsan su desarrollo. En esencia se intenta caracterizar el tipo de innovación en proceso, explorar el grado de cooperación mutua entre empresa y centro de investigación, identificar los actores de la cadena de valor de los MEMS a nivel local y global, así como el nivel de integración con las cadenas globales de innovación.

Asimismo se consultó diversa bibliografía disponible en su momento sobre la cadena de valor de los MEMS de cada país, desde informes oficiales de política tecnológica, artículos elaborados por consultorías y documentos académicos. Este artículo forma parte de un trabajo de doctorado elaborado a lo largo de cinco años<sup>3</sup>.

## **3. MARCO CONCEPTUAL**

El trabajo de investigación aborda el tema de la “innovación” considerándolo un componente fundamental de la competitividad en la industria electrónica, comprendiendo diversos conceptos teóricos para dar cuenta en principio de cómo la innovación se asume desde una perspectiva no ortodoxa (conforme a corrientes o prácticas occidentales) por los llamados países en desarrollo de

---

<sup>3</sup> Para mayor detalle puede consultarse la tesis en TESIUNAM bajo el título: La innovación en los procesos y productos de la cadena electrónica global: el caso de los sistemas micro electromecánicos o tecnología MEMS, experiencias de México y China”.

la región asiática. La así llamada “innovación tardía” acuñada por Dieter Ernts, pone en relieve el uso y aplicación de tecnologías replicables y relativamente más fáciles y simples, que dan origen a las innovaciones incremental y arquitectónica orientadas a satisfacer necesidades básicas de los países en desarrollo. Se introduce también la noción del proceso interpretativo de la innovación por Michael Piore y Richard Lester, para entender que el diseño y desarrollo de nuevos productos involucra una interacción dialógica entre diferentes participantes (consumidor final, cliente, diseñador industrial, ingeniero, administrador, investigador académico, y otros), “explorando una forma abierta para interrelacionarse entre sí y desde diferentes prácticas en comunidad”. El espacio de la universidad se considera menos restrictivo (ya que no está estrictamente sujeto a la lógica del mercado) para este intercambio o punto de encuentro entre especialistas de diferentes disciplinas que obliga a forjar un lenguaje común de comprensión (Piore y Lester, 1999; Piore, 2007). Esto supone un medio donde se privilegia la libertad de expresión y estructuras que estimulen un nivel de discusión para el intercambio de ideas, actitudes culturalmente arraigadas en sociedades que respetan y practican estos principios. Añadiéndose además el concepto de innovación frugal, término que esclarece la naturaleza de las innovaciones creadas en la región asiática con especial referencia a la India y China, países que procuran atender las necesidades de grandes segmentos de población con bajos ingresos. La innovación frugal se concentra en la creación de productos reduciéndolos a sus características más esenciales (mínimo material y adecuada adaptación tecnológica) para disminuir costos.

Asimismo la globalización que ha implicado mayor movilidad, conectividad e interdependencia, está cambiando las reglas que gobiernan la innovación. Hoy en día el cambio tecnológico está ocurriendo en un ambiente estructuralmente diferente. Una manifestación de éste cambio son las llamadas cadenas globales de producción y conocimiento, dispersas geográficamente y subordinadas a diferencias en costos y logísticas, que determinan en gran medida la difusión tecnológica y las sinergias potenciales para que empresas u otras entidades en segmentos específicos de la electrónica en su particular contexto regional adquieran capacidades para innovar. El esquema de “Redes Globales de Innovación” (RGI) propuesto por Dieter Ernst otorga un panorama de incesante fragmentación a través de la subcontratación de actividades de mayor valor agregado: ingeniería, desarrollo del producto e investigación dentro de la cadena electrónica de valor y su localización más allá de los centros neurálgicos de alta tecnología (E.U., Europa y Japón). La motivación de las empresas líderes detrás de la construcción de la RGI es la captación de nuevas fuentes generadoras de innovación que rentabilicen sus flujos de inversión y la incorporación de los mercados emergentes en expansión. Dieter Ernst advierte que hay que distinguir dentro de los centros de I&D establecidos por las trasnacionales en el exterior, el enfoque entre la “explotación de la base doméstica” y “el aumento de la base doméstica”. El primer concepto hace referencia a los centros de I&D externos (o deslocalizados) que adaptan la tecnología desarrollada en la base de operaciones de la empresa, para la comercialización en mercados internacionales. En contraste el segundo concepto que ha adquirido mayor importancia desde 1990, alude a la idea de utilizar el conocimiento local del centro de I&D externo, con el fin de crear nuevos productos y procesos para mercados regionales o globales. En esta segunda alternativa, la colaboración en la RGI da lugar a un intercambio de conocimiento reduciéndose significativamente las atrincheradas barreras a la innovación, propiciando el potencial fortalecimiento de capacidades locales. Bajo este contexto es imprescindible que los potenciales participantes desarrollen capacidades de absorción de “conocimiento y dirección de técnicas necesarias para exitosamente crear, cambiar, mejorar y comercializar productos, servicios,

equipos, procesos y modelos de negocio”, figurando además como prerrequisito indispensable el conducir endógenamente investigación básica (Ernst, 2009:7-13).

Por otro lado, otra consideración teórica dentro del RGI es la propuesta de una clasificación sobre la gobernabilidad desde el enfoque de Gereffi, Sturgeon y Humphrey, quienes enfatizan la maleabilidad y traslape de las distintas formas que asume la estrategia de coordinación por parte de los líderes con sus colaboradores, inclusive dentro de las distintas etapas de la propia cadena de valor. Para caracterizar la gobernabilidad, consideran tres elementos determinantes: la complejidad de la información, la habilidad para codificar la información y el cambio de competencias del proveedor.

#### **4. LA CADENA DE VALOR DE LOS MEMS**

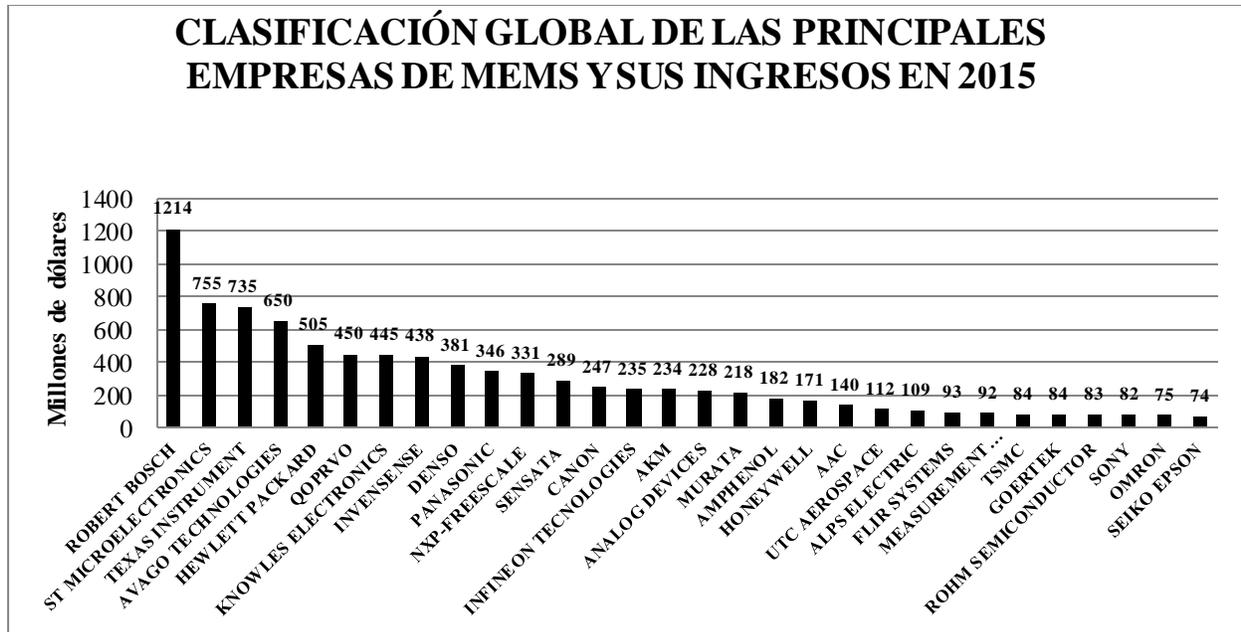
Con base a información de dos consultorías de análisis tecnológico y de mercados: IHS iSuppli de origen americano y Yole Développement de origen francés, se construye el mapa a nivel global de los segmentos que constituyen la cadena de valor de los MEMS enfocándose principalmente en la gestación de la innovación: Investigación y Desarrollo (I&D), diseño, desarrollo del producto, fabricación, caracterización, pruebas y encapsulamiento. Asimismo en el marco de una mejor comprensión se puntualiza que el concepto de cadena de valor se utiliza para dar cuenta de la división internacional del trabajo, es decir, la segmentación de todas aquellas actividades que involucran el introducir un producto al mercado desde la concepción hasta su uso final y más allá. Precisando que la información es muy limitada y no se cuenta con suficientes datos sobre la comercialización y ventas o más allá, salvo información sobre los ingresos por concepto de ventas a nivel muy agregado, de forma que no se describe de manera estricta toda la cadena de valor. Por lo que en dicha segmentación de las diferentes tareas que implica un producto MEMS, a grandes rasgos se ubican geográficamente los principales centros o nodos de I&D y fabricación, siendo de particular relevancia la creciente participación de empresas asiáticas.

El liderazgo de la industria de los MEMS se concentra geográficamente en Estados Unidos, Canadá, Europa y Japón, destacándose notoriamente el primer país mencionado, en el desarrollo de esta tecnología manifiesta principalmente en la propiedad intelectual, regulaciones, libre flujo de fabricación y empresas líderes posicionadas a lo largo de la cadena de valor.

De acuerdo a la consultoría francesa Yole Développement la generación de aproximadamente 77% de los ingresos globales en la industria de los MEMS en 2015 se atribuyen principalmente a 30 empresas (véase gráfica 1) y el restante 23% es fruto de la contribución de más de 300 empresas. Los cuatro fabricantes más importantes de dispositivos MEMS: *Robert Bosch*, *ST Microelectronics*, *Texas Instrument* y *Avago Technologies* han tenido ventas aproximadas de 3.35 mil millones de dólares, dando cuenta en conjunto de casi la tercera parte de las ventas totales. *Bosch* con su principal negocio en el sector automotriz mostró un incremento en su volumen pero redujo los precios por la presión del costo, mientras que *St Microelectronics* obtiene su principal ingreso del sector de electrónica de consumo intentando migrar al sector automotriz y colaborando con empresas chinas para completar sus capacidades de producción. Es de destacar que el proveedor chino de micrófonos AAC se incorpora de forma consecutiva en la lista de las 30 principales empresas de MEMS, convirtiéndose en el segundo proveedor del

iPhone<sup>4</sup>, al mismo tiempo que su connacional la empresa *GoerTek* logra posicionarse y ascender en la clasificación con respecto a años anteriores. Estas dos últimas empresas en adición con *Knowles* e *Infineon* están siendo favorecidas por el incremento en la difusión de micrófonos que son incorporados a teléfonos inteligentes, ordenadores portátiles, audífonos y accesorios personales (Doe, 2012; Yole Développement). Es necesario precisar que los MEMS de alto volumen pueden encontrarse en una variedad de aplicaciones a lo amplio de un rango de industrias. Estos dispositivos se han desarrollado alrededor del paradigma de la tecnología del producto<sup>5</sup>, de modo que una clase de MEMS tiene aplicación en diferentes mercados.

GRÁFICA 1



Fuente: Yole Développement.

La mayor parte de la tecnología MEMS tiene su origen en las universidades, institutos de investigación y compañías exitosas de las regiones de Norteamérica y Europa. Algunas de estas empresas han elegido trasladar su producción a países asiáticos para tomar ventaja de los bajos costos, percibiéndose en algunos casos como una extensión de la empresa. Sin embargo, el escenario está cambiando rápidamente al incorporarse a la cadena de valor, regiones que localmente han desarrollado ventajas comparativas con calidad mundial. Un ejemplo de la fragmentación y dispersión global de la cadena de los MEMS, se ilustra con el caso de la *foundry* canadiense *Micralyne*, la cual igual tiene clientes financiados con capital de riesgo de Estados Unidos, emprende el trabajo de *software* de modelado y diseño en la India, realiza la fabricación de componentes MEMS en Canadá, integra los componentes MEMS a las obleas de CMOS

<sup>4</sup> Este teléfono inteligente que permite hablar, escuchar música y navegar por internet logró su éxito comercial en 2007. La tecnología MEMS (sensores inerciales, brújulas digitales, componentes de audio y video) contribuyó en gran medida a ampliar la experiencia del usuario al habilitar al teléfono con una gama de nuevas características. Los micrófonos MEMS por ejemplo, han sido adoptados para el comando de voz y suprimir el ruido ambiental en los teléfonos inteligentes, extendiendo su aplicación a tabletas, *ultrabooks*, cámaras y televisiones. Las empresas chinas AAC y Goertek dependen exclusivamente de la tecnología *die* de MEMS del fabricante alemán Infineon, el cual les vende el *die* del micrófono así como los circuitos integrados de aplicación específica, los cuales son empaquetados para después venderlos bajo sus marcas propias (Bouchaud, 2013).

<sup>5</sup> Por ejemplo, al principio los acelerómetros encontraron su nicho en la industria automotriz pero posteriormente se introdujeron en el mercado médico como parte componente de los marcapasos (Van Heeren y Salomon, 2007).

fabricadas en Taiwán, ensambla el producto final en China y por último vende el dispositivo MEMS a su cliente líder en Europa (Alton, 2007).

#### **4.1 TIPOLOGÍA DE EMPRESAS MEMS**

Las empresas de la industria de los MEMS se inscriben en los siete modelos de empresas identificados por los especialistas Jean Christophe Eloy y Eric Mounier de la consultoría francesa Yole Développement: 1) Fabricantes por contrato; 2) Foundries: empresas que han abierto instalaciones generalmente para mercados de alto volumen (más de 10,000 obleas de silicio por año); 3) Fabricantes de productos disponibles para la venta (*off the shelf*) que se enfocan en aplicaciones de gran volumen; 4 y 5) Las casas de diseño e ingeniería y empresas *fabless*, ambos modelos subcontratan los servicios de fabricación de forma externa para proveer el servicio completo a sus clientes; centrándose en la propiedad intelectual del dispositivo MEMS; 6) Fabricantes de sistemas con *foundries* integradas que son aquellas empresas con plantas propias de fabricación y ocasionalmente trabajan con clientes externos; y 7) Los institutos de I&D y universidades que hacen prototipos y pre-series para clientes industriales. Sus servicios no son propiamente industriales pero involucran el desarrollo de nuevos procesos de fabricación (Eloy y Mounier, 2004).

La comoditización<sup>6</sup> de los MEMS está coaccionando a los fabricantes de dispositivos a reducir costos, de manera que las empresas se esfuerzan en hacer más eficientes sus ciclos de desarrollo y fabricación. Una forma de abordar esta situación ha sido el diseñar alrededor de procesos bien definidos o por lo menos mediante módulos de procesos estándar que disminuyan el tiempo al mercado<sup>7</sup>. Derivado de esta situación se puede decir que a grandes rasgos predominan dos modelos de negocios: 1) un grupo de pequeñas empresas que desarrollan I&D y diseño o empresas *fabless* contratando los procesos de fabricación de forma externa y; 2) fabricantes por contrato con servicios tipo *foundry*, las cuales cuentan con experiencia en procesos productivos e integración. Paralelamente aparecen nuevos modelos de negocios de naturaleza híbrida, así algunos fabricantes de dispositivos integrados se especializan en producir obleas de MEMS con sus propios diseños pero al mismo tiempo algunas *foundries* de MEMS están desarrollando plataformas de productos con sus propios diseños (Yole Développement; Septiembre 22, 2011).

#### **4.2 CONFIGURACIÓN DE LA CADENA DE VALOR POR SEGMENTOS BÁSICOS**

En un desglosamiento geográfico de los modelos de negocios por región estimados por la consultoría Yole Développement, se visualiza en el cuadro 1 a grandes rasgos la cadena de valor de los MEMS en sus segmentos básicos: I&D, diseño y fabricación. Se observa que Estados Unidos y Europa encabezan las actividades de I&D en aplicaciones de nuevos dispositivos. Se ha registrado que el impulso de la industria de los MEMS ha sido principalmente a través de la

---

<sup>6</sup> Es un neologismo económico de origen inglés (*commoditization*) que hace referencia a los productos genéricos que cumplen con ciertas normas mínimas en calidad y características. El *commodity* es vendido sobre la base del precio y no de la marca. Esta situación se caracteriza por el desarrollo de tecnologías estandarizadas y más baratas que inducen a los proveedores a disminuir los precios (*Business Dictionary.com*).

<sup>7</sup> Alissa Fitzgerald de la empresa *A.M. Fitzgerald & Associates*, opina que las *fabless* tiene que superar varias limitaciones. En contraste con los diseñadores de la IDM (*Integrated Device Manufacturer*) que tienen la ventaja de una fábrica cautiva y años de información del proceso de caracterización, las *foundries* no proporcionan esta información a los diseñadores de *fabless*, que al diseñar un MEMS suponen dentro un margen de tolerancia lo que un proceso puede fabricar. Es un trabajo reiterativo de diseño-fabricación del prototipo-prueba que implica mucho tiempo y costos, hasta lograr el dispositivo con las especificaciones que demanda el cliente (MEMS JOURNAL; Marzo 21, 2013).

innovación, el diseño y la creación por empresas OEMs (*Original Equipment Manufacturer*) norteamericanas, como *Apple* (creando el mercado de acelerómetros y giroscopios en los teléfonos móviles con *iPhone*), *Qualcomm* (invirtiendo en I&D para futuras aplicaciones que aumentará el uso de sensores en teléfonos), *Hewlett Packard* (explorando la tecnología de detección inercial para nuevos mercados), el uso innovador de MEMS por *Google* y *Microsoft*, *Texas Instruments* (introduciendo el procesador de aplicaciones OMAP listo para manejar seis sensores y seis micrófonos digitales) y otras instituciones de diversa naturaleza (*Defense Advanced Research Projects Agency*, *Fraunhofer-Gesellschaft*, *University fabs* como *UC Berkeley*, *Standford*, *Massachusetts Institute of Technology* y otras).

CUADRO 1

		JUGADORES EN LA INDUSTRIA DE LOS MEMS			
		Desglose geográfico de los modelos de negocios de los MEMS			
		FAB	FOUNDRY	FABLESS	I&D
	ASIA	35%	32%	5%	25%
	EUROPA	28%	24%	40%	38%
	ESTADOS UNIDOS	35%	41%	53%	26%
	RESTO DEL MUNDO	2%	3%	1%	11%

Fuente: Yole Développement. Abstract for MEMS Industry Group Global Press Summit, 2010. Marzo 17, 2010.

Por otro lado, se aprecia el auge del modelo *fabless* o la especialización en el diseño y desarrollo del producto por empresas americanas y europeas que abarcan el 93% de esta modalidad. La causa de este auge corresponde al surgimiento de *start-ups* que diseñan dispositivos MEMS innovadores y a estrategias adoptadas por algunos fabricantes de dispositivos integrados<sup>8</sup>, enfocados en la reducción de la estructura de costos (Bouchaud, 2011). En la fabricación de MEMS, Estados Unidos se sitúa como el mayor fabricante dentro de la cadena global de valor, por su participación con sus respectivos modelos de negocios: *fab* (*semiconductor fabrication plant*) (35%) y *foundry* (41%). En conjunto se aprecia que en Europa y América la tendencia hacia los modelos *fabless* y *fablight* continua ganando terreno, al mismo tiempo que la estrategia empresarial de estos nodos geográficos trasladan parte de su manufactura hacia Singapur, Taiwán y China, cuya contribución como parte de la región de Asia representa 35% en la modalidad *fab* y 32% en la modalidad *foundry*. El aumento en la capacidad de fabricación tiene como uno de sus referentes, el desarrollo de equipo de fabricación específico para MEMS, que por más de 25 años

<sup>8</sup> Empresas que diseñan y fabrican su producto internamente.

fue resultado de la modificación de herramientas y equipo de la industria de semiconductores, muchas veces obsoleto o con signos de depreciación. Sin embargo, la necesidad de estructuras tridimensionales y el empleo de nuevos materiales y procesos, han despertado el interés de empresas tales como *Applied Materials* y *Lam Research* para el desarrollo de tal equipo (Fitzgerald, 2006 y 2011).

## **5. LA INNOVACIÓN DE LOS SISTEMAS MICRO ELECTROMECAÑICOS (MEMS): ESTUDIOS DE CASO EN MEXICO Y CHINA**

En este apartado se aborda la innovación a partir de una dimensión micro, delimitándose el análisis al espacio donde priva relativamente un ambiente propicio para la innovación de acuerdo a la perspectiva “interpretativa” del proceso de innovación de Michael Piore y Richard Lester, es decir, los centros de I&D de la universidad. Para lo cual se documentan estudios de caso derivados de proyectos de investigación con tecnología MEMS realizados en instituciones académicas de ambos países: México y China. Asimismo, se intenta caracterizar el tipo de innovaciones bajo estudio que se desarrollan en ambos países para cotejarlos con el concepto de innovación frugal, el cual plantea que la creatividad tiene siempre en mente la restricción de recursos (materiales y capital), optando por desechar lo irrelevante pero a su vez incorporando nuevas tecnologías que satisfagan las necesidades en demanda por consumidores de bajos ingresos. Este concepto se establece como punto de referencia, ya que reivindica una trayectoria no ortodoxa para desarrollar innovaciones en países como México o China, manteniendo en mente las necesidades específicas in situ y adaptando soluciones en el marco de una realidad propia.

La micro-tecnología de componentes ha atraído el interés de México y China, con trayectorias temporales muy diferentes de desarrollo. Su importancia en México se manifiesta desde el año 2002, cuando la Secretaría de Economía y la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC) gestionaron la creación de la RED-MEMS con la participación de los sectores académico, empresarial y de gobierno. Mientras que la investigación de esta tecnología en China tiene su origen a partir de 1990, recibiendo impulso desde el octavo (1991-1995) y noveno (1996-2000) plan quinquenal con apoyo del Ministerio de Ciencia y Tecnología junto con otras instituciones.

Los estudios de caso en México se sustentan en dos proyectos de investigación realizados en el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) de Juriquilla, Querétaro, institución afiliada al Programa Nacional para el Diseño y Fabricación de Prototipos MEMS: el proyecto de diseño de un BioMEMS para detectar tuberculosis y el diseño de un sistema MEMS para un equipo de refrigeración, petición específica de la empresa nacional IMBERA. Ambos estudios de caso son resultado de una serie de entrevistas a los investigadores involucrados en dichos proyectos que se iniciaron desde Marzo de 2011 hasta Octubre de 2013<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> El primer estudio de caso se ha enriquecido con una estancia de cuatro meses en Beijing dentro del Programa de Becas Ciudad de México-China, 2011, con el proyecto denominado “Biochip para detectar tuberculosis como método alternativo de diagnóstico. Buscando una posible transferencia tecnológica”. Uno de los objetivos fue la búsqueda de empresas o institutos de investigación chinos que contaran con experiencia en campos de evaluación de diagnóstico e instalaciones para la fabricación del biochip de detección de tuberculosis. El reporte de la estancia se puede encontrar en las Propuestas Resultantes del Programa de Becas Ciudad de México-China 2011 de la página *web* de CECHIMEX-UNAM.

Los estudios de caso de China, se documentan a partir de líneas de investigación realizadas en *MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University*, institución identificada como una de las más importantes durante la experiencia de la estancia en China con el Programa de Becas Ciudad de México-China 2011. El primer estudio de caso, se enfocó en el área de BioMEMS y sus vínculos al exterior, para tener un punto comparativo con la contraparte mexicana. Y en el segundo estudio de caso se consideró el proyecto de investigación en torno al carburo de silicio (SiC), patrocinado dentro de un proyecto para sensores de presión; este material está en vías de optimizarse y la tecnología de los MEMS de presión ha adquirido gran madurez con gran expectativa de crecimiento, situación que ha atraído el interés de varias empresas chinas por concentrar esfuerzos en atender la demanda interna de segmentos de la electrónica de consumo y automotriz.

Debe añadirse que las inferencias a las que se llega en este apartado no sólo se derivan de los estudios de caso mencionados, se consultó paralelamente diversa información disponible en su momento sobre la cadena de valor de los MEMS de cada país, desde informes oficiales de política tecnológica, artículos elaborados por consultorías y documentos académicos.

Se presenta a continuación en forma esquemática los resultados en relación al proceso de innovación de la tecnología MEMS en cada país. En el caso de México, los indicios se resumen de la siguiente forma:

1. Se ha construido un Plataforma Nacional de Producción de Prototipos MEMS, con el objetivo de racionalizar los recursos para conformar una infraestructura de colaboración nacional que eventualmente ejecute todas las etapas: diseño, modelado, caracterización, fabricación y encapsulado; sin que hasta la fecha se haya articulado de manera funcional. Ante la deficiente infraestructura, se percibe la tendencia a conformar cadenas de valor regionales, cuyos centros MEMS aspiran a ser portadores de nuevas ideas y generadores de productos susceptibles de comercializarse, intentando vincularse con el sector productivo a través de una credibilidad sustentada sobre una cartera atractiva de patentes.

2. La RED-MEMS se encuentra en una etapa pre-competitiva, es decir, centrada en la investigación básica con proyectos científicos, algunas aplicaciones en diseños preliminares y experimentos de laboratorio. La labor de innovación es todavía muy incipiente, enfocándose en proyectos de diseño que responde a una demanda en específico por parte de una empresa o incubándose a partir de grupos multidisciplinarios de investigadores con iniciativa emprendedora.

3. Se ha identificado dos estrategias de divulgación de la tecnología MEMS en la academia:

- A través de la difusión de un software de diseño de MEMS, con limitaciones en el aprendizaje de esta tecnología, perpetuando la dependencia tecnológica del exterior.
- Y una iniciativa para desarrollar procesos y técnicas propias a largo plazo, mediante el uso de métodos o técnicas de fabricación no convencionales en el proceso de aprendizaje. Esta iniciativa da lugar al desarrollo endógeno, de métodos y procesos rápidos, sencillos y baratos, que comulgan con la innovación frugal. Es una vía que implica más tiempo pero que a largo plazo contribuiría al surgimiento de ideas semillas con potencial innovador.

Ambas estrategias son esfuerzos importantes para la difusión de esta tecnología, no obstante, el aprendizaje no es un proceso lineal en el sentido de que sí se invierte durante un determinado

tiempo se reflejará en un incremento proporcional de conocimiento, es mucho más complejo. La importancia en la capacitación de la masa crítica de especialistas en MEMS, debe enfatizar la comprensión de los fenómenos físicos y desarrollar la capacidad para interactuar en un ambiente interdisciplinario.

4. La oferta de especialistas en esta tecnología se reduce a los centros de excelencia de nivel de posgrado, sin contar aún con un sistema educativo integral desde las primeras etapas que garantice la cantidad y calidad necesaria en el futuro. El proceso de innovación en la tecnología MEMS implica una colaboración multidisciplinaria, que supone ambientes de amplia divulgación y fluidez en la comunicación. Sin embargo, el sistema educativo mexicano cuenta con una estructura jerarquizada que funciona bajo esquemas muy autoritarios, inconveniente cultural, que podría repercutir negativamente en el llamado proceso interpretativo de la innovación.

5. El esquema de apoyos e incentivos para el desarrollo de la tecnología MEMS se sostiene sobre escasos recursos gubernamentales, no habiendo hasta el momento suficientes estímulos que induzcan la formación de *start-ups* u otro esquema de apoyos que motive la inversión directa del sector privado, salvo algunos programas de innovación tecnológica del CONACYT, diseñados para vincular academia y empresa, estipulando una cooperación financiera de 50% CONACYT y 50% la empresa. El sector privado generalmente opta por la compra de productos listos para comercializarse e implementar servicios, con poca propensión a invertir en innovación a causa del alto costo de desarrollo en el mercado local y por la perspectiva de un horizonte de corto plazo acorde a sus expectativas de ganancia.

6. El tema de las patentes en la academia es bastante difuso porque la mayoría de los investigadores desconocen la normatividad o requisitos para patentar, implicando procesos muy burocratizados. Por otro lado, existe una disposición a considerar los resultados de la investigación académica en código abierto o de acceso universal. Además la viabilidad de la patente se dificulta en el momento de publicar los avances de la investigación en revistas especializadas, corriendo el riesgo de que alguna empresa con la infraestructura necesaria comercialice y proteja la innovación. El blindaje de la patente contra la piratería, recomienda de preferencia la tramitación de patentes a nivel internacional (abarcando por lo menos los mercados de E.U., Europa y México), opción que es considerablemente costosa. El consenso en el medio académico sobre la mejor forma de estimular la innovación coincide en definir con mayor claridad un esquema de beneficios mejor regulado para el inventor.

7. En relación al empleo de trabajo altamente especializado por parte de empresas trasnacionales, está surgiendo un fenómeno que se le ha dado en llamar “la nueva maquiladora mexicana”<sup>10</sup>, refiriéndose al contrato de mano de obra muy buena y con alto conocimiento pero menos pagada comparativamente que en los países líderes. La prospectiva es desalentadora en el sentido de que las empresas extranjeras ya no traen patentes, más bien se incuban toda la investigación en los países en desarrollo (las ideas emanan del país, las manos y cerebros son del país) generándose patentes que se conservan y explotan por parte de las empresas extranjeras. El peligro que se entrevé en los esfuerzos del desarrollo de la tecnología MEMS en México sí es que alcanzara un

---

<sup>10</sup> Es una expresión que según el Dr. Mathieu Hautefeuille del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias de la UNAM se emplea en Francia para describir la percepción de lo que sucede con las empresas francesas que se han establecido en la industria aeronáutica de Querétaro.

grado de experiencia que remarcara su competencia en el plano global de la geografía del conocimiento, es el entraparse en una dinámica con las empresas transnacionales que derive en la llamada “nueva maquiladora mexicana”.

Por otro lado las conclusiones generales en el caso de China son las siguientes:

1. La tecnología MEMS se encuentra en una etapa temprana con procesos y *software* poco desarrollados y de insuficiente madurez para las casas de diseño, se estima que tomará algún tiempo obtener experiencia en el diseño de productos MEMS y ganar acceso al mercado. La estrategia china se concentra en establecer su propia base industrial de MEMS y dominar materiales, diseño, fabricación, pruebas, procesamiento, equipo y sistema de integración de MEMS, así como adiestrarse en técnicas claves y estimular la aplicación de investigación básica que pueda devenir en patentes. Tras más de 20 años de esfuerzos en investigación de MEMS, China ha progresado significativamente cambiando el enfoque de la investigación de actividades de evaluación y medición, hacia el desarrollo de dispositivos y sistemas. Existen varias empresas especializándose en diferentes segmentos de la cadena de valor de los MEMS, la mayoría de las cuales trabajan de forma asociada con empresas extranjeras o con algún especialista repatriado. Gran parte de las empresas de origen genuinamente chino han sido *spin-off* de institutos de investigación o universidades<sup>11</sup>. En tales circunstancias, podría presentarse un cambio cualitativo interesante, al pasar de ser un seguidor e imitador a un potencial innovador, y de realizar únicamente investigación en el ámbito académico a comercializar los resultados de su investigación.

2. Se fomenta la formación de científicos, doctores, ingenieros e investigadores en el extranjero y se les induce la mentalidad de que a su retorno, sean fundadores de su propia empresa. Esta comunidad migrante capacitada se convierte en portadora del conocimiento tácito de tecnologías vanguardistas, que han tenido contacto directo con algunas capacidades necesarias para la dirección e innovación de MEMS. Aunque China cuenta con un contingente enorme de ingenieros y científicos, se percibe una notable diferencia de actitud entre los investigadores de la academia china que desempeñan de manera incómoda el papel de emprendedor (modelo americano del científico innovador y empresario), mientras que la actitud del ingeniero que ha salido a formarse en el exterior, capta con mayor facilidad los códigos de comportamiento de un ejecutivo de empresa transnacional (apertura, cooperación y oportunidad de ampliar el mercado). De igual modo se ha adoptado la tendencia hacia la concentración de talento tanto extranjero como doméstico, en parques tecnológicos que muestran indicios de un intento por emular el modelo exitoso del *Silicon Valley*.

3. Desde mediados de la década de los 90s, China se planteó seriamente centrar el desarrollo del país a través de la ciencia, la tecnología y la educación, realizando reformas estructurales, emitiendo programas con financiamiento público e impulsando esquemas de incentivos para emprendedores. La estrategia china establece dentro de su política económica la meta de satisfacer el mercado interno y se concentra en innovaciones adaptadas *ad hoc*, muchas veces

---

<sup>11</sup> Desde 2009 dentro del Programa para la Innovación del Conocimiento, se obligó a transformar institutos estatales de investigación en empresas de propiedad estatal, mediante dos vías: el instituto se fusionaba a una empresa existente o transitaba por sí misma al *status* de una empresa.

patrocinadas dentro de esquemas de normatividad gubernamental<sup>12</sup>. Se tiene como objetivo la optimización de métodos de producción en serie o *batch*, incursionando con productos ya existentes en sectores de alta demanda de los MEMS, confiando en sostener una ventaja de precios bajos debido a sus costos laborales y la exoneración de derechos de importación. Ciertamente la empresa transnacional se encuentra detrás del salto cualitativo en las capacidades tecnológicas de los chinos, cuyos términos de transferencia del conocimiento y habilidades han sido gestionados por el “Estado Chino”, con el objetivo de adquirir en un futuro cercano una relativa autonomía. En el contexto de las redes globales de innovación y producción, las innovaciones que se intentan desarrollar coinciden con algunos aspectos de la innovación frugal, tal como se plantea en el programa nacional “*Drive for Indigenous Innovation*”<sup>13</sup>, que hace particular énfasis en la innovación integrada o la combinación de tecnologías existentes en nuevas formas y, la re-innovación que implica la adopción y mejoramiento de tecnologías importadas (Jarrett y Wendholt, 2010).

## 6. CONCLUSIONES

A grandes rasgos se puede decir, que las políticas gubernamentales con respecto a ciencia y tecnología en la industria de los MEMS han sido diametralmente opuestas: en China predomina una intervención gubernamental deliberada para propiciar el desarrollo de esta industria, mientras que en México el papel gubernamental ha sido menos activo, limitándose a una regulación casi aséptica y un intento muy débil de vincular la política de ciencia y tecnología con el sector productivo.

Sin obviar que México y China han desarrollado históricamente una base tecnológica divergente, se considera que un punto de comparación entre ambos países que repercute en el desarrollo de la tecnología MEMS, es la forma en que la inversión extranjera directa se ha establecido en sus espacios nacionales. En el caso de China, las políticas adoptadas para permitir que las empresas extranjeras accedan a su mercado a cambio de “transferir tecnología avanzada”, ha logrado a través de estos acuerdos preservar las prioridades de crecimiento y desarrollo nacional. Se considera que uno de los elementos clave dentro de las condiciones de estos acuerdos, ha sido la conformación obligatoria de *joint-venture* o empresas mixtas entre extranjeros y chinos. En el caso de México, no se logró afianzar una relación más ventajosa de “transferencia tecnológica”, especialmente durante el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). En el sector exportador se realizan procesos que operan predominantemente bajo la modalidad de “importaciones temporales para su reexportación”, conforme a diversos programas de fomento a la exportación, que acoge una racionalidad contradictoria, es decir, por un lado se incentiva a las empresas exportadoras con un trato especial en términos fiscales, arancelarios, entre otros, pero por otro lado, se envía el hábito importador, que desincentiva la incubación de encadenamiento endógenos, convirtiéndose en un enorme dilema para la política pública (Dussel Peters, 2003). En

---

<sup>12</sup> Por ejemplo, China es el tercer gran consumidor de MEMS en el sector automotriz (atrás de E.U. y Europa), su rápido crecimiento se debe a que este país está tratando de ponerse al día en aplicaciones de seguridad y control de emisiones para los autos. En el segmento de los sistemas de monitoreo de la presión de los neumáticos se espera un incremento, ya que las recomendaciones oficiales del gobierno chino han establecido un estándar nacional para este tipo de sistemas. Se integran estos dispositivos MEMS en un auto para evitar dañar más al medio ambiente, ya que una correcta presión en el neumático resulta en un mejor kilometraje y por ende, menor emisión de carbono (Dixon, 2011).

<sup>13</sup> La innovación endógena es un plan masivo y complejo para convertir a China en una poderosa economía tecnológica para el año 2020 y en líder global para 2050. Este plan se encuentra plasmado en el documento de referencia “*National Medium and Long-Term Program for Scientific and Technological Development*” (2006-2020).

consecuencia bajo este régimen, las empresas extranjeras no se encuentran condicionadas para efectuar una abierta transferencia tecnológica, limitándose los procesos de aprendizaje a lo que les sea funcional y ventajoso, sin establecer un compromiso de crecimiento y desarrollo en el espacio local y nacional.

Otro tema relevante a considerar, es la complejidad del proceso de innovación en la tecnología MEMS, el cual es un “modo de construcción por corrección”, ya que los dispositivos tienen diferentes arquitecturas mecánicas requiriendo diferentes procesos, que implican ir ajustando el proceso hasta lograr la ejecución del MEMS deseado<sup>14</sup>. De modo que el ciclo diseño-fabricación-prueba, plantea una colaboración intrínseca entre científicos, diseñadores, especialistas de fabricación y de otras disciplinas, sobre el supuesto de condiciones de abierta comunicación y trabajo. Conjeturando que en países como China y México estuvieran presentes los recursos adecuados (laboratorios, equipos e instrumentos, científicos y técnicos entrenados), la dificultad que se contempla, es la falta de suficiente estimulación en sus espacios académicos para el espíritu creativo. Culturalmente son sociedades muy conservadoras y burocráticas, con estructuras académicas que son poco proclives a la libre discusión de ideas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Alton B. (Junio de 2007). *The Global MEMS Supply Chain: A Foundry's Perspective*. MicroNano News. Recuperado el 6 de Mayo de 2016, de [http://www.micalyne.com/news/inthenews/2007/OnBoard\\_Feb07.pdf](http://www.micalyne.com/news/inthenews/2007/OnBoard_Feb07.pdf)
- Blouin, D., Mosier, T., & Lang, C. (2016). 2016 Top Markets Report Semiconductors and Related Equipment. Estados Unidos: U.S. Department of Commerce | International Trade Administration | Industry & Analysis (I&A). Recuperado de [http://trade.gov/topmarkets/pdf/Semiconductors\\_Top\\_Markets\\_Report.pdf](http://trade.gov/topmarkets/pdf/Semiconductors_Top_Markets_Report.pdf)
- Bouchaud J. (20 de Junio de 2011). *Fabless Firms Expand Activity, Claim 23 Percent of MEMS Value in 2010*. IHS iSuppli, Headlines. Recuperado el 14 de Marzo de 2013, de <http://www.isuppli.com/mems-and-sensors/marketwatch/pages/fabless-firms-expand-activity-claim-23-percent-of-mems-value-in-2010.aspx>
- Bouchaud J. (1 de Mayo de 2013). *MEMS Supplier Ride Apple's Gravy Train to the Top of the Microphone Business*. IHS iSuppli, Headlines. Recuperado el 9 de Septiembre de 2013, de <http://www.isuppli.com/MEMS-and-Sensors/News/Pages/MEMS-Suppliers-Ride-Apple%E2%80%99s-Gravy-Train-to-the-Top-of-the-Microphone-Business.aspx>
- Bryzek J. (2012). *Roadmap to a \$Trillion MEMS Market*. MEPTEC Report, 16-no.1. Recuperado de [http://issuu.com/mepcom/docs/meptec\\_report\\_spring\\_2012](http://issuu.com/mepcom/docs/meptec_report_spring_2012)
- Bryzek J y Roundy S. (2012). *MEMS Testing: Transition from Millions to Billions to Trillions*. Chip Scale Review, 16-no.5. Recuperado el 3 de Febrero de, [http://www.chipscale.com/issuu.com/0912/content/CSR\\_September-October-2012\\_digital.pdf](http://www.chipscale.com/issuu.com/0912/content/CSR_September-October-2012_digital.pdf)
- Dabat A.; Ordóñez S. y Rivera, M. (2005). *La reestructuración del clúster electrónico de Guadalajara (México) y el nuevo aprendizaje tecnológico*. Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía, 36, no. 143. Recuperado de <http://www.ejournal.unam.mx/autor1.html?a=428>
- Dixon R. (22 de Septiembre de 2011). *China Emerges as World's Fastest-Growing Automotive MEMS Market*. IHS iSuppli, Press Release. Recuperado, de <http://press.ihs.com/press-release/design-supply-chain/china-emerges-worlds-fastest-growing-automotive-mems-market>
- Doe P. (19 de Junio de 2012). *SEMICON West preview: Maturing MEMS sector looks at ways to work together*. Solid State Technology. Recuperado el 24 de Abril de 2013, de

---

<sup>14</sup> En esta etapa no se toma todavía en cuenta el co-diseño con la parte ASIC (circuito integrado para una aplicación específica) que acompaña al sensor, labor que implica otro proceso de prueba y error. La industria de los MEMS no tiene la estructura y modularidad de la industria de los circuitos integrados, por lo que sí las empresas desean diferenciarse de la competencia necesitan la adición de nuevos materiales y nuevas formas de procesarlos. Las herramientas para ayudar en el diseño de MEMS son más bien emuladores que simuladores, ya que no pueden incorporar los detalles finos en un resultado eléctrico final, su nivel de exactitud no es el mismo que ha logrado la industria de los circuitos integrados (Moyer, 2012).

- <http://www.electroiq.com/articles/stm/2012/06/semicon-west-preview-maturing-mems-sector-looks-at-ways-to-work-together.html>
- Dussel Peters E., Palacios J. y Gómez W. (Coordinadores). (2003/a). La industria electrónica en México: problemas, perspectivas y propuestas. Universidad de Guadalajara.
- Dussel Peters E. (2003). *Ser maquila o no ser maquila ¿es ésa la pregunta?*. Comercio Exterior, vol. 53, núm. 4. Recuperado de [http://alamo.colson.edu.mx:8085/sitios/CESS/maquila/index\\_archivos/Dussel\\_Peters.pdf](http://alamo.colson.edu.mx:8085/sitios/CESS/maquila/index_archivos/Dussel_Peters.pdf)
- Eloy J. y Mounier E. (Octubre de 2004). *Status of the MEMS Industry*. OnBoard Technology. Recuperado de [http://www.onboard-technology.com/pdf\\_ottobre2004/100407.pdf](http://www.onboard-technology.com/pdf_ottobre2004/100407.pdf)
- Ernst D. (2009). *A New Geography of Knowledge in the Electronics Industry? Asia's Role in Global Innovation Networks*. East West Center Working Papers; Policies studies. Recuperado de No. 54. [http://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/pdfs/ps054\\_2.pdf](http://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/pdfs/ps054_2.pdf)
- Fitzgerald A. (2006). *No Rest for the Weary: MEMS Manufacturing Must Press On, With Big Market Ahead*. MEMS Industry Group, "Five Year Anniversary Report". Recuperado de <http://www.amfitzgerald.com/papers/NoRestfortheWeary.pdf>
- Fitzgerald A. (Julio de 2011). *Planning for Successful MEMS Product Development*. Commercial Micro Manufacturing. Recuperado de [http://amfitzgerald.com/papers/CMM\\_PlanningforSuccessfulMEMS.pdf](http://amfitzgerald.com/papers/CMM_PlanningforSuccessfulMEMS.pdf)
- FUMEC. (Boletín Septiembre 2010). Innovación, clave para el crecimiento de México: entrevista con Leonardo Ríos. Recuperado de [http://fumec.org.mx/v6/index.php?option=com\\_content&view=article&id=187:leonardo&catid=112:sep-10&Itemid=551&lang=es](http://fumec.org.mx/v6/index.php?option=com_content&view=article&id=187:leonardo&catid=112:sep-10&Itemid=551&lang=es)
- Habermas J. (1990). Teoría y Praxis. Tecnos, España.
- IHS iSuppli. MEMS & Sensors. Recuperado de <https://technology.ihs.com/Categories/450486/mems-sensors>
- Jarrett K. y Wendholt A. (1 de Marzo de 2010). *Transferring Technology to Transform China—Is It Worth It?*. China Business Review. Recuperado de <http://www.chinabusinessreview.com/transferring-technology-to-transform-china-is-it-worth-it/>
- Kaplinsky R. (Diciembre de 2000). *Globalisation and Unequalisation: What Can Be Learned from Value Chain Analysis?*. The Journal of Development Studies, ABI/INFORM Global. Recuperado de [http://siteresources.worldbank.org/INTAFRSumESSD/Resources/1729402-1150389437293/Kaplinsky\\_Value\\_Chain.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTAFRSumESSD/Resources/1729402-1150389437293/Kaplinsky_Value_Chain.pdf)
- MEMS JOURNAL (2 de Marzo de 2013). *Fabless MEMS manufacturing: can process drive design?*. Recuperado el 5 de Abril de 2013, de <http://www.memsjournal.com/2013/03/fabless-mems-manufacturing-can-process-drive-design.html>
- Moyer B. (29 de Noviembre de 2012). *Letting Process Drive MEMS Design*. Electronic Engineering Journal. Recuperado el 23 de Mayo de 2013, de <http://www.eejournal.com/archives/articles/20121129-silex/>
- Palazzesi A. (Febrero de 2008). *MEMS, las nanomáquinas que cambiarán al mundo*. Revista Neoteo, No.18. Recuperado de <http://www.neoteo.com/PDF/neoteo18.pdf>
- Piore M y Lester R. (1999). INNOVATION. The Missing Dimension. Harvard University Press.
- Piore M. (28 de Septiembre de 2007). *A Critical View of Schumpeter's Theory of innovation*. Prepared for Presentation at Conference on Capitalism and Entrepreneurship Cornell University. Recuperado de <http://econ-www.mit.edu/files/3099>
- Yole Développement. Reports MEMS&SENSORS. Recuperado de <https://www.i-micronews.com/reports/mems-sensors-report.html>
- Yole Développement. (17 de Marzo de 2010). Abstract for MEMS Industry Group Global Press Summit. Recuperado el 1 de Mayo de 2013, de <http://www.memsiindustrygroup.org/files/public/Yole%20Developpement%20Globalpress%20Summit%202010.pdf>
- Yole Développement. (22 de Septiembre de 2011). *In 2016, the MEMS market figures will be US\$19.6 B and 15.8B units respectively*. For Immediate Release. Recuperado de [http://www.yole.fr/iso\\_upload/News/2011/StatusoftheMEMSIndustry\\_Sept%202011.pdf](http://www.yole.fr/iso_upload/News/2011/StatusoftheMEMSIndustry_Sept%202011.pdf)