



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**DOCTORADO EN ECONOMÍA**  
**FACULTAD DE ECONOMÍA**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**LA INNOVACIÓN EN LOS PROCESOS Y PRODUCTOS DE  
LA CADENA ELECTRÓNICA GLOBAL. EL CASO DE LOS  
SISTEMAS MICRO ELECTROMECAÑICOS O  
TECNOLOGÍA MEMS, EXPERIENCIAS DE MÉXICO Y  
CHINA**

**TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE DOCTORA  
EN ECONOMÍA**

**PRESENTA:**

**YALÚ MARICELA MORALES MARTÍNEZ**

**TUTOR PRINCIPAL:**

**DR. ENRIQUE DUSSEL PETERS**  
**FACULTAD DE ECONOMÍA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**COMITÉ TUTORAL:**

**DR. VÍCTOR MANUEL CASTAÑO MENESES**  
**CENTRO DE FÍSICA APLICADA Y TECNOLOGÍA**  
**AVANZADA (CFATA), UNAM**

**DR. LEONEL CORONA TREVIÑO**  
**FACULTAD DE ECONOMÍA**

**DR. ENRIQUE DUSSEL PETERS**  
**FACULTAD DE ECONOMÍA**

**DR. SERGIO ORDÓÑEZ GUTIÉRREZ**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS**

**DR. MIGUEL ÁNGEL RIVERA RÍOS**  
**FACULTAD DE ECONOMÍA**

**MÉXICO, D.F., MAYO 2015**

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
A.1 Planteamiento del problema .....	12
A.2 Planteamiento de la hipótesis .....	13
A.3 Objetivos del proyecto de investigación.....	14

### **CAPÍTULO 1. LA INNOVACIÓN EN LA CADENA ELECTRÓNICA DE VALOR**

1.1 Introducción.....	18
1.2 La taxonomía de la innovación y el concepto de innovación tardía según Dieter Ernst..	20
1.3 El proceso interpretativo de la innovación de Michael Piore y Richard Lester .....	23
1.3.1 Espacios públicos que favorecen el proceso interpretativo de la innovación.....	26
1.4 La innovación frugal.....	29
1.5 Redes globales de innovación .....	34
1.5.1 Tipología de las redes globales de innovación .....	36
1.6 La gobernabilidad en la cadena electrónica de valor.....	37
1.7 La captura de las ganancias de la innovación.....	42
1.8 Rentas económicas .....	45
1.9 La triple hélice. Relación universidad-industria-estado .....	48
1.10 Competitividad sistémica .....	50
1.11 Conclusiones preliminares.....	52

### **CAPÍTULO 2. CONFIGURACIÓN DE LA CADENA DE VALOR DE LOS SISTEMAS MICRO ELECTROMECAÑICOS (MEMS)**

2.1 Introducción.....	63
-----------------------	----

2.2 Breve panorama de la cadena electrónica de valor.....	66
2.3 Los Sistemas Micro Electromecánicos (MEMS) y su historia.....	71
2.4 Los MEMS y la industria de los semiconductores .....	75
2.5 La industria de los MEMS y los diferentes mercados que lo conforman.....	81
2.5.1 MEMS en el sector de Electrónica de Consumo/Teléfonos .....	86
2.5.2 MEMS en el sector Automotriz.....	88
2.5.3 MEMS en el sector Industrial .....	92
2.5.4 MEMS en el sector Telecomunicaciones .....	94
2.5.5 MEMS en el sector Aeroespacial/ Militar .....	97
2.5.6 MEMS en el sector Médico .....	99
2.6 La cadena de valor de los MEMS.....	103
2.6.1 Modelos de empresas MEMS.....	107
2.6.2 Distribución geográfica de la cadena de valor de los MEMS y una valoración aproximada de la contribución de cada segmento en el valor agregado .....	110
2.7 Conclusiones preliminares.....	118

### **CAPÍTULO 3. SISTEMA CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO: MÉXICO Y CHINA**

3.1 Introducción.....	124
3.1.1 Ciencia y tecnología desde una perspectiva mundial .....	125
3.2 Panorama general de la economía en México .....	143
3.2.1 Política de ciencia y tecnología en México, enfocándola a la industria electrónica ...	145
3.2.2 Política de ciencia y tecnología de México en los Sistemas Micro-Electromecánicos o MEMS .....	151
3.2.3 Financiamiento nacional en ciencia y tecnología. Gasto en investigación y desarrollo experimental (GIDE) en México .....	155
3.2.4 Recursos humanos en ciencia y tecnología en México, con mención especial en torno a la masa crítica de especialistas en MEMS.....	158

3.2.5 Patentes en México con datos puntuales sobre invenciones de MEMS .....	162
3.2.6 Balanza de pagos tecnológica de México .....	165
3.3 Panorama general de la economía de China .....	170
3.3.1 Política de ciencia y tecnología en China .....	173
3.3.2 Política de ciencia y tecnología de China en los Sistemas Micro-Electromecánicos o MEMS .....	177
3.3.3 Financiamiento nacional en ciencia y tecnología. Gasto en investigación y desarrollo en China.....	181
3.3.4 Recursos humanos en ciencia y tecnología en China .....	183
3.3.5 Patentes en China con datos puntuales sobre invenciones de MEMS.....	187
3.3.6 Balanza de pagos tecnológica de China .....	189
3.4 Conclusiones preliminares.....	192

**CAPÍTULO 4. LOS SISTEMAS MICRO-ELECTROMECAÑICOS (MEMS) EN LA INNOVACIÓN DE LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA: EXPERIENCIAS DE MÉXICO Y CHINA**

4.1 Introducción.....	198
4.2 Primer estudio de caso en México: Biochip para detectar tuberculosis .....	199
4.3 Segundo estudio de caso en México: MEMS para un sistema de refrigeración .....	206
4.4 Aspectos a considerar en la introducción de la tecnología MEMS en el caso de México ... .....	210
4.5 Primer estudio de caso en China: BioMEMS.....	216
4.6 Segundo estudio de caso en China: MEMS de carburo de silicio .....	217
4.7 Aspectos a considerar en la introducción de la tecnología MEMS en el caso de China .....	218
4.8 Conclusiones preliminares.....	222

4.9 Lineamientos para una política pública que impulse el desarrollo de la tecnología MEMS en México.....	240
<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>245</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>261</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>276</b>

## INTRODUCCIÓN GENERAL

En este trabajo de investigación se abordará el tema de la “innovación” considerándolo un componente fundamental de la competitividad en la industria electrónica. 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<sup>1</sup> y subordinadas a diferencias en costos y logísticas, que determinan en gran medida la difusión tecnológica y las sinergias potenciales para que empresas en segmentos específicos de la electrónica en su particular contexto regional adquieran capacidades para innovar.

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<sup>2</sup> 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 s. 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”<sup>3</sup> en nuevos productos, servicios, procesos y modelos de negocios para la obtención de ganancias extraordinarias (Ernst, 2009; Kaplinsky, 2000).

---

<sup>1</sup> El proyecto Millenium comisionado por las Naciones Unidas (en él que se proponen planes concretos para lograr metas de desarrollo) considera otros factores que afectan estructuralmente el ambiente global, tales como el clima geopolítico, en cuyo escenario Estados Unidos incide favorablemente sobre ciertos países al permitirles el acceso a su mercado y a otros mercados avanzados de nuevas tecnologías; entrada a nuevos mercados de exportación y significativa asistencia al desarrollo. La propiedad intelectual o patentes tecnológicas juegan un rol cada vez más importante en el desarrollo de nuevas industrias. Asimismo las nuevas oportunidades y presiones ejercidas por las tecnologías de la información y comunicación contribuyen en el conjunto de prácticas organizacionales dentro de empresas, universidades y centros de I&D.

<sup>2</sup> Países como China e India han desarrollado la capacidad de garantizar la transformación de insumos físicos en productos de alta calidad y bajo costo. Al mismo tiempo, se observa que los países desarrollados hacen énfasis en la protección de derechos de autor y marcas, asegurando para ellos formas de renta “absoluta e inmutable” (Kaplinsky, 2000:127).

<sup>3</sup> Kaplinsky retoma el concepto de “nuevas combinaciones” desarrollado por Schumpeter, refiriéndose a la utilización de materiales y fuerzas productivas existentes en forma y por métodos distintos para la producción de bienes. Esto constituye el “impulso fundamental que pone y mantiene en movimiento a la máquina capitalista procedente de los nuevos bienes de consumo, de los nuevos métodos de producción y transporte, de los nuevos mercados, de las nuevas formas de organización industrial que crea la empresa capitalista”. (Schumpeter, 1950:83) Las alteraciones producidas en la estructura económica, se llevan a cabo intrínsecamente a través de empresarios innovadores dentro de un marco competitivo, dando paso o creando

En el paradigma actual de la cadena electrónica global de valor, la capacidad de innovar constituye una barrera esencial a la entrada<sup>4</sup>, cobrando mayor relevancia para el conjunto de empresas o regiones que se proponen escalar segmentos de mayor valor agregado. El dominio de la “caja negra de la difusión del conocimiento”<sup>5</sup> bajo el régimen de propiedad intelectual es ejercido por las empresas líderes, circunstancia que ha obligado a intensificar la I&D de todos los integrantes de la red para evitar disminuir su participación en las ganancias. Los líderes de la cadena de valor trazan la pauta en el crecimiento, estrategia y posicionamiento de los diferentes proveedores y contratistas dentro de la red, incidiendo por consiguiente en la cuota de participación de las ganancias.

En primera instancia, podría decirse que la innovación implica un proceso continuo y acumulativo dirigido por las empresas para mejorar productos y procesos o 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 del progreso tecnológico como motor de desarrollo de las fuerzas productivas se ha sustentado en un sistema científico tecnológico de carácter instrumental, al ser conocimiento técnicamente utilizable<sup>6</sup> generado por la colaboración activa de diversas entidades: centros de investigación, empresas y Estado<sup>7</sup>. La tendencia global hoy en día se

---

nuevas formas de producir o comercializar y eliminando o destruyendo de paso las viejas formas. “Este proceso de destrucción creadora constituye el dato de hecho esencial del capitalismo...y toda empresa capitalista tiene que amoldarse a ella para vivir.” (Schumpeter, 1950:83).

<sup>4</sup> Las empresas intensivas en patentes, utilizan las innovaciones registradas para fortalecer su posición como jugador en las negociaciones cruzadas de licencias, lo cual depende del tamaño y la calidad del portafolio de patentes. Los términos de comercio entre las tecnologías rivales y su propiedad también afectan directamente a la empresa. Para el potencial competidor en el diseño electrónico y de software, es necesario desarrollar una amplia base de patentes que le evitarán renunciar al uso de invenciones importantes controladas por los líderes del mercado global (Ernst, 2003/b).

<sup>5</sup> Compreendida como las tecnologías que no pueden ser fácilmente imitadas por los competidores porque: están protegidos bajo los derechos de propiedad intelectual como patentes; están hechos de materiales complejos, procesos y el *know-how* que no puede ser copiado fácilmente; o están usando métodos de producción únicos, sistemas o control de tecnologías (Ernst, 2006/b: 21).

<sup>6</sup> La ciencia moderna desde los tiempos de Galileo se rige “por el principio según el cual conocemos ciertos procesos en la medida en que podemos reproducirlos artificialmente....En la medida en que las ciencias naturales no se limitan a reproducir desarrollos ya existentes en la naturaleza, sino que se disponen a poner en marcha nuevos procesos naturales, la investigación pasa también a depender de los progresos de la técnica” (Habermas, 1993:319-320).

<sup>7</sup> El Estado en países industrializados ha fungido como promotor de la investigación para el perfeccionamiento técnico sobre todo en el campo militar, justificado por el discurso político que aboga por la seguridad nacional.

decanta por extender lazos de cooperación internacional para realizar investigación, con el objeto de captar conocimiento (incorporación de científicos e ingenieros) y acceder a la innovación local.

México y China afrontan este contexto, considerándose de gran interés explorar las estrategias que se están emprendiendo en ciencia, tecnología e innovación dentro de la industria electrónica y de manera concreta en los Sistemas Micro Electromecánicos o MEMS, tomando en cuenta que no puede ser viable, al menos que cada país cuente con un soporte de medidas bien diseñadas para dirigir resultados tales como aprendizaje, investigación y desarrollo, difusión, transferencia y posterior comercialización de la tecnología, en otras palabras, la creación necesaria de políticas e instituciones que faciliten la aplicación acumulativa de capacidades científico tecnológicas. En este sentido, la innovación como “fuente potencial de riqueza”<sup>8</sup>, requiere de ciertas condiciones que dependen entre otros muchos factores, del desarrollo y estabilidad económica, marco regulatorio general (programas y esquemas de incentivos), conveniente entorno institucional, cierto grado de cultura cooperativa, es decir, aspectos que se analizan desde los cuatro niveles de comprensión (meta, meso, macro y micro) en el concepto de “competitividad sistémica”. Debe acotarse que el caso de China se presenta como un referente de interés en términos de procesos de innovación y competitividad sistémica con respecto a la experiencia de México, considerando que las trayectorias tecnológicas respectivas son muy diferentes. En particular se destacan los siguientes aspectos importantes de la experiencia China en la tecnología MEMS: las condiciones bajo las cuales la inversión extranjera opera en China y la inserción de los participantes chinos en las redes globales de producción e innovación de la tecnología MEMS.

Se ha elegido la tecnología MEMS como objeto de estudio por su irrupción dentro de un conjunto variado de industrias (automotriz, médico, de consumo, industrial y aeroespacial,

---

<sup>8</sup> Habermas explica que en los “Grundrissen der Kritik der Politischen Ökonomie”, Marx juzgó sin ir más allá, “al desarrollo científico de las fuerzas técnicas de productividad como posible fuente de valor” (Habermas 1990: 243). Explica que en la evolución progresiva de la industria, la creación de riqueza depende cada vez menos del tiempo de trabajo empleado y que más bien, “depende del estadio general de la ciencia y del progreso de la tecnología o de la utilización de esta ciencia sobre la producción. (El desarrollo de esta ciencia, esencialmente de la ciencia natural y con ella de todas las demás, está a su vez en relación con el desarrollo de la producción material).” (Habermas, 1990: 243; Marx, 1985: 228).

entre otras) con la promesa de generar productos, componentes y sistemas más pequeños (con no sólo el efecto en la reducción de su tamaño, sino también en la disminución de uso de materiales y costos), inteligentes<sup>9</sup>, multifuncionales<sup>10</sup> y compatibles con el medio ambiente, marcando un hito en el desarrollo económico y social de la humanidad. Los Sistemas Micro Electromecánicos o MEMS<sup>11</sup> son dispositivos integrados por elementos mecánicos<sup>12</sup> (partes móviles) y electrónicos (o eléctricos) que funcionan como sensores<sup>13</sup> y actuadores<sup>14</sup> de tamaños micrométricos (una milésima de milímetro), fabricados por medio de técnicas y materiales similares a los utilizados en los semiconductores<sup>15</sup>. El mismo concepto de MEMS cada vez más se extiende a otro tipo de microestructuras, incluyendo dispositivos y sistemas magnéticos, térmicos, fluídicos y ópticos con o sin partes móviles y a la utilización de otros materiales como titanio, nitruros, cerámicos, metales y diferentes polímeros (Oropeza y Hautefeuille, 2010). Los MEMS forman parte del sector de

---

<sup>9</sup> Se prevé el desarrollo de materiales inteligentes que implican la combinación de materiales reactivos con sensores y actuadores, tal vez junto con computadoras que permiten responder al medio ambiente y cambios del mismo. Sin embargo, hay que tomar en cuenta las limitaciones en cuanto a la sensibilidad de los sensores, la ejecutabilidad de los actuadores y la posibilidad de fuentes de energía con magnitudes comparables requeridas con el tamaño deseado del sistema (los MEMS fusionan las funciones de sensibilidad y actuación con comunicación y computación para controlar localmente los parámetros físicos en micro escala). Algunos ejemplos, son los robots que imitan a los insectos o pájaros utilizados para explorar el espacio; localización y tratamiento de materiales peligrosos o los vehículos aéreos no tripulados (Antón, Silbergliitt y Schneider, 2001).

<sup>10</sup>Un ejemplo de multifuncionalidad, son los MEMS y *lab on chip*, sistemas que combinan muchas funciones. *Lab-on-chip* son sensores o dispositivos que integran diferentes funciones como preparación y manejo de muestras, separación celular y detección. Otro ejemplo de ello, es considerar la capa de un avión fabricado de materiales absorbentes que funcionan como radar con conexiones aeroespaciales y la habilidad para modificar la forma en respuesta al flujo de aire (Antón, Silbergliitt y Schneider, 2001).

<sup>11</sup> Por sus siglas en inglés *Micro Electromechanical Systems*, es comúnmente utilizado en Estados Unidos, en Europa se conoce como tecnología de micro sistemas y en Japón se aplica el término de micro máquinas.

<sup>12</sup> Las micro estructuras mecánicas pueden ser: microfluídicas (válvulas, bombas y canales de flujo) o micro máquinas (engranajes, turbinas o motores de combustión).

<sup>13</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>14</sup> Los actuadores son los que responden o actúan de acuerdo a la información (transformando la energía en movimiento, posicionamiento, bombeo, o filtrado, etc., dependiendo el caso) que resulte del análisis realizado por la electrónica del sistema.

<sup>15</sup> En términos más coloquiales se puede decir que los MEMS son básicamente *chips* que tienen diversas aplicaciones (definición de Wilfrido Calleja, investigador en microelectrónica del INAOE), fabricados sobre una base de silicio similar a los circuitos integrados. El principio de su funcionamiento se basa en tres etapas: primero un sensor detecta una fuerza no eléctrica como presión, movimiento, flujo de aire, calor, sonido o magnetismo; después, un transductor convierte aquellas fuerzas en señales eléctricas; y por último, en respuesta a aquellas señales un actuador ejecuta una acción mecánica de uno u otro tipo. La función de los MEMS es medir variables térmicas, eléctricas, magnéticas, biológicas u otras, para efectuar una acción en un dispositivo mecánico y corregir alguna variable. Todos estos elementos se sincronizan a través de un sistema de control tal como un microcontrolador, es decir, un aparato donde se procesa la información al cual se conecta el *chip*.

semiconductores (son básicamente *microchips* que controlan los dispositivos electrónicos), que 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 semiconductores se han convertido en un indicador del progreso tecnológico con un profundo impacto en innumerables actividades de la sociedad actual<sup>16</sup>. Los avances en las tecnologías de los semiconductores han permitido por más de seis décadas el desarrollo de productos electrónicos más sofisticados, que en el caso de los MEMS se encuentran actualmente presentes en el funcionamiento de bolsas de aire, frenos, control de emisiones y navegación de los autos; las pantallas giratorias de los teléfonos móviles de última generación, tabletas y consolas de videojuego; sensores biomédicos y sistemas de dosificación de medicamentos; en sistemas de control de una variable tales como regulación de temperaturas de riego, caducidad de algún alimento, emisión de gases y otras aplicaciones, abarcando un sinnúmero de posibilidades en espera de ser explorados.

En el reporte sobre la tecnología MEMS, “*MEMS Technology Nearing the Tipping Point*” del banco de inversión privada *Boucher-Lensch Associates* se estimaba para 2010 una participación de los MEMS en el mercado de la industria de los semiconductores de aproximadamente 5%. A primera vista, da la impresión de ser todavía una aportación muy poco significativa, sin embargo, 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 mil millones de sensores y actuadores para los siguientes mercados: control del clima, exploración y producción de petróleo, 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

---

<sup>16</sup> Su influencia se ha infiltrado a casi todos los sectores de la economía y la sociedad de forma poco perceptible en nuestra vida cotidiana, reflejados por ejemplo en los caracteres del recibo de luz, la reserva de un pasaje de avión, en robots laborales, automatización de funciones de contabilidad, sistemas bancarios electrónicos, artefactos militares y otros aspectos cotidianos (King, 1982).

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 290 mil millones de dólares en valor agregado de servicios derivados. 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).

La naturaleza de la tecnología MEMS exige la colaboración transdisciplinaria en los procesos de innovación de forma que incurren diferentes percepciones ideológicas con sus respectivos lenguajes en un espacio de carácter simbiótico, incubando novedosas ideas para materializar mediante un proceso iterativo de prueba y error<sup>17</sup>, prototipos funcionales. Este procedimiento corresponde al proceso de interpretación descrito por Piore y Lester en el proceso de innovación, instituyendo la analogía con una “comunidad lingüística”<sup>18</sup>, espacio donde se supone prevalece el flujo libre de ideas e información, prácticas en comunidad que en esta tesis se sitúa en el contexto particular de la universidad como uno de los eslabones o fuentes importantes de innovación y fuerza laboral educada.

La tecnología MEMS es una combinación variada de técnicas<sup>19</sup> que en la actualidad ha logrado un cierto grado de estandarización pero que experimenta permanentemente con

---

<sup>17</sup> En el diseño de MEMS se compara constantemente los resultados obtenidos de las simulaciones numéricas con el comportamiento real del dispositivo MEMS, para adaptar los procesos de producción modificando las características geométricas (micro estructuras tridimensionales móviles) hasta llegar al desempeño requerido para una aplicación determinada.

<sup>18</sup> Piore y Lester sitúa la analogía en el nivel en que el desarrollo del producto reúne a diferentes especialistas con un lenguaje específico alcanzando una etapa, “en la que la ambigüedad puede ser claramente reconocida y que el intercambio de ideas da lugar al enriquecimiento”, es decir, la construcción de un lenguaje o entendimiento común con el transcurrir del tiempo (Piore y Lester, 2004:73).

<sup>19</sup> Las herramientas para la fabricación de microestructuras mecánicas se conoce como proceso de micromaquinado, que abarca diversas técnicas pero básicamente se reduce a la siguiente metodología: 1) Deposición del material, incluyendo la deposición de películas delgadas y procesos de unión; 2) Definición de patrones usando litografía y 3) Grabado (Etching) (Romero, 2008).

nuevos materiales y técnicas para mejorar<sup>20</sup> o explorar potenciales aplicaciones. Por consiguiente, el desarrollo de la tecnología depende en parte del grado de avance del equipamiento y herramientas de manufactura, que actualmente ha recibido un impulso excepcional a nivel comercial a través de la digitalización<sup>21</sup>, adoptando un esquema más abierto e interconectado similar a la *Web*. Este esquema tiene un efecto democratizador en las herramientas de diseño y producción, permitiendo plataformas de colaboración tales como el programa “Sistema de Fabricación Inteligente”<sup>22</sup> (SFI), iniciativa internacional para conducir conjuntamente investigación entre empresas, universidades y centros de investigación a nivel global. El SFI tiene como objetivo reivindicar la importancia de la manufactura, actividad que aporta a nivel mundial el 25% del PIB con más de 20 millones de empresas y generando casi una tercera parte del empleo mundial (28%). El trasfondo de esta iniciativa es evitar la duplicación del esfuerzo en proyectos de investigación común compartiendo recursos (conocimiento, masa crítica, financiamiento, entre otros.) y, creando métodos y normas que se constituyan eventualmente en estándares internacionales (*Intelligent Manufacturing Systems.Global Research and Business Innovation Program*, pagina web).

---

<sup>20</sup> “Hasta ahora la inmensa mayoría de los MEMS disponibles comercialmente pueden clasificarse como componentes o subsistemas, pero una nueva tendencia se está imponiendo al integrar cada vez más funciones dentro del *chip*. Un ejemplo notable es la evolución de los sensores para las bolsas de aire anti-impacto en los automóviles. Estos sensores fueron al principio simples interruptores mecánicos que evolucionaron hacia sensores micromecánicos que cuantificaban directamente la desaceleración provocada por algún choque. Hoy en día, se trata de dispositivos que integran toda la electrónica de acondicionamiento de señal junto con el sensor microelectromecánico para incorporar funciones de autodiagnóstico y salidas digitales. La siguiente generación sin duda avanzará en la incorporación de toda la electrónica necesaria para el manejo de las bolsas de aire, sin necesidad de una etapa posterior de tratamiento de las salidas del dispositivo” (Gómez, 2011).

<sup>21</sup> Chris Anderson, autor del libro “*Makers*”, explica que la pericia del taller mecánico se está reproduciendo en algoritmos de *software*. “El hacer cosas se ha vuelto digital, ahora los objetos físicos empiezan siendo diseños en pantalla y estos diseños pueden ser compartidos en línea en forma de archivos. Esto ha venido ocurriendo en las décadas pasadas en fábricas y en tiendas de diseño industrial, pero ahora también está pasando en los ordenadores de los consumidores y en los talleres caseros. Y una vez que una industria se hace digital, cambia de forma muy profunda, como hemos visto en las ventas minoristas y en la edición. La mayor transformación no reside en la manera en que se hace las cosas, sino en *quién las hace*. Una vez que las cosas pueden hacerse en ordenadores normales, cualquiera las puede hacer. Y eso es exactamente lo que vemos ocurrir hoy en la manufactura” (Anderson, 2013:34).

<sup>22</sup> Este programa es apoyado por 28 países de la Unión Europea, México y Estados Unidos. Los investigadores que tienen una idea para la investigación y desean iniciar su propio proyecto encontrarán todas las herramientas necesarias en línea, incluyendo un sitio *web* colaborativo interactivo, los procedimientos, la asistencia disponible, y las plantillas para la presentación de una propuesta (*Intelligent Manufacturing Systems.Global Research and Business Innovation Program*, página web).

A medida que la computadora gestiona las máquinas de producción incorporando desde sistemas de Diseño Asistido por Computación (CAD), *software* de Fabricación Asistida por Computadora (CAM), empleo de autómatas y robots, la inspección de calidad mediante visión artificial<sup>23</sup> y el control del avance de la producción en tiempo real (*Manufacturing Execution System*<sup>24</sup>), hasta la modelización y recreación virtual de procesos y fábricas enteras con *software* de simulación (*Computer-Aided Protection Engineering*), se ha evolucionado en las últimas tres décadas durante la era digital hacia la tecnología de Fabricación por Adición de Capas<sup>25</sup> (*Additive Layer Manufacturing*, siglas en inglés). El desarrollo de procesos de Fabricación por Adición de Capas (FAC) supone una auténtica revolución respecto a los procesos tradicionales de fabricación<sup>26</sup>, consistiendo en sucesivas y controladas superposiciones de capas micrométricas de material hasta reproducir cualquier geometría que el ser humano pueda imaginar, en lugar de arrancar material (mecanizado, troquelado, etc.) o conformar con ayuda de utillajes y moldes (fundición, inyección, plegado, etc.). Las ventajas que engloban los procesos de fabricación de esta tecnología van desde: 1) la complejidad geométrica sin encarecer el proceso, al lograr replicar características de espesores variables, vaciado interior, canales internos, formas irregulares e incluso la reproducción de la naturaleza, así como la adaptación de los productos a la biomecánica humana de manera que los diseños se ajustan a las particularidades antropométricas de cada individuo, sin afectar los costos de fabricación; 2) la personalización no encarece el proceso porque permite fabricar productos sin penalización de costo, independientemente de si se tiene que fabricar un determinado número de piezas iguales o todas distintas y; 3) la permisividad de fabricación en pequeños lotes de productos, donde se añade la ventaja de poder realizar modificaciones durante la

---

<sup>23</sup> La visión artificial emplea cámaras y *software* de procesamiento de imagen para realizar inspecciones de control de calidad, abarcando funciones desde el conteo de productos en un transportador de banda, lecturas de números de serie, búsqueda de defectos en la superficie, verificación de la tolerancias de dimensión y forma, verificación del correcto montaje, posición e integridad de las partes, las cuales pueden ser microscópicamente pequeñas (estructuras de un *chip*), etc. (Microscan Systems, Inc., página *web*).

<sup>24</sup> Es un sistema de control para gestionar y dar seguimiento a los trabajos en proceso de una fábrica. Mantiene el registro de la información de fabricación en tiempo real, recibiendo datos de robots, máquinas y empleados (*Techtarget network*).

<sup>25</sup> Son muy diversas las técnicas de fabricación aditiva como la estereolitografía o el sinterizado selectivo láser, que permiten obtener piezas desde un archivo CAD 3D, ‘imprimiéndolas’ de forma totalmente controlada sobre una superficie (Fundación Cotec).

<sup>26</sup> Los procesos de fabricación, aunque asistidos por controles más avanzados siguen siendo mayormente tradicionales por arranque de material, por fundición o por inyección (Fundación Cotec).

vida del producto sin apenas un costo adicional o parametrizar el producto y fabricarlo según la demanda, desligándose de los costosos moldes (costo inicial, mantenimiento, almacenamiento, etc.).

Todas estas características del FAC implican un cambio radical en el proceso de diseño de los productos y permite una enorme libertad creativa, replicando con exactitud los modelos teóricos de ingeniería<sup>27</sup>. De igual forma los procesos de fabricación aditiva permiten diferentes geometrías y materiales en un solo objeto o producto, para integrar simultáneamente los elementos constitutivos de una pieza sin posteriores ensambles o ajustes (por ejemplo, un eje y su cojinete). Hasta el momento esta tecnología ha permeado en un variado conjunto de sectores entre los que se encuentran el médico<sup>28</sup>, aeronáutico, automotriz, textil, joyería y arte. Existen aún limitaciones y retos tecnológicos que deben ser resueltos, pero el potencial de esta tecnología abre un mundo infinito de oportunidades para nuevos productos y modelos de negocio en el futuro. Esta tecnología de fabricación podría impactar positivamente en el desarrollo de procesos y productos MEMS al conformarse en una alternativa rápida y barata. Quizás nos encontremos en el punto más cercano de la fabricación aditiva digital a escala molecular, ya que en el umbral constante de experimentación, los investigadores están utilizando varios materiales desde pasta de madera hasta nanotubos de carbono y se ha adquirido la capacidad de imprimir circuitos eléctricos creando desde cero complejos aparatos electrónicos (Anderson, 2013; Fundación Cotec).

---

<sup>27</sup> Es un paso revolucionario en el diseño, puesto que el diseñador no tendría que preocuparse de las limitaciones en la fabricación, dejando en manos de la computadora la resolución de todas aquellas dificultades de coincidencia entre diseño y fabricación (Anderson, 2013:127).

<sup>28</sup> Este sector ha sido el pionero en la introducción de la Fabricación por Adición de Capas, puesto que las implantes artificiales de una parte o de la totalidad del cuerpo han requerido modelos geométricos de gran complejidad, además de que la familiaridad entre los sistemas de captura de datos médicos (TAC, escáner, entre otros) y las técnicas de tratamiento de ficheros (archivos que contiene información relacionada con el diseño asistido por ordenador), ha hecho posible la integración de diseño y fabricación con relativa facilidad. Un ejemplo asombroso del alcance de esta tecnología son los '*scaffolds*', estructuras porosas que propician el crecimiento de tejidos artificiales, como el óseo o el cartilaginoso, y que cada vez son más empleados en ingeniería tisular. Básicamente consiste en imprimir una capa de células del propio paciente en un andamio de material inerte impreso en 3D. Una vez que las células están en su lugar, pueden crecer hasta convertirse en un órgano (Anderson, 2013: 126; Fundación Cotec).

La tendencia hacia tecnologías de gran precisión y poco tamaño, incide desde un punto de vista de prospectiva tecnológica, al desarrollo subsiguiente de Sistemas Nano Electromecánicos o NEMS, dispositivos que integran la nanotecnología con los Sistemas Micro Electromecánicos (MEMS), cuya madurez se espera alcanzar hasta bien entrado el siglo XXI. A diferencia de sus predecesores los MEMS, por su reducido tamaño serán capaces de materializar robots a escala nano (milmillónésima parte de un metro) para cirugía a nivel molecular, tratamientos anti-cáncer y suministro de medicamentos. Los NEMS (*Nanoelectromechanical systems*, siglas en inglés ) se caracterizan por una sensibilidad extrema en detectar pequeños desplazamientos o fuerzas tan débiles como las fuerzas moleculares; la potencia consumida es del orden de microwatios, unos tres o cuatro órdenes de magnitud inferior a los dispositivos electrónicos convencionales; operan a frecuencias muy altas de un gigahertzio para sensar variables hasta ahora imposibles y se perfilan para crear memorias no volátiles más rápidas y con mayor capacidad de almacenamiento de datos<sup>29</sup>. Los MEMS y NEMS forman parte del sueño una vez promulgado por el físico Richard Feynman en su conferencia magistral en 1959 “*There’s plenty of room at the bottom*”, al presentar un panorama futurista con la miniaturización de computadoras, manipulación de átomos y construcción de máquinas a escala molecular<sup>30</sup>. Con el advenimiento en el siglo pasado del microscopio de efecto túnel en 1982, el desarrollo del microscopio de fuerza atómica en 1986, el descubrimiento de los nanotubos de carbón en 1991 y el desarrollo de la técnica Smalley para la producción uniforme de nanotubos en 1996, se arraigaron los elementos impulsores del creciente interés por la micro y la nano tecnología. Los NEMS se pueden fabricar de silicio<sup>31</sup>, arseniuro de galio y arseniuro de indio o de otros materiales compatibles, lo cual implica que el resto de los

---

<sup>29</sup> Las memorias fabricadas con nanotubos de carbono pueden ser una alternativa de memorias RAM o de acceso aleatorio no volátiles más rápidas, de menor costo, con gran capacidad de almacenamiento, mínimo consumo de potencia, resistente a la radiación y casi de vida ilimitada. Eventualmente podría utilizarse en memorias de teléfonos celulares, en dispositivos MP3, cámaras digitales y PDAs (asistentes digitales personales) (Herrera y otros, 2010).

<sup>30</sup> En ese entonces expresó durante la reunión anual de la Sociedad Americana de Física en el Instituto Tecnológico de California: “Los principios de la física, tal y como yo los entiendo, no niegan la posibilidad de manipular las cosas átomo por átomo... Los problemas de la química y la biología podrían evitarse si desarrollamos nuestra habilidad para ver lo que estamos haciendo y para hacer cosas a nivel atómico...” (Herrera y otros, 2010).

<sup>31</sup> El silicio es el material mejor estudiado pero presenta limitaciones para alcanzar altos factores de calidad en los NEMS, a saber, el amortiguamiento termoelástico o capacidad de un sistema o componente para absorber energía mecánica y disiparla en forma de calor (energía térmica) o deformación permanente (energía plástica); y los efectos superficiales como la oxidación y reconstrucción (Herrera y otros, 2010).

dispositivos auxiliares pueden integrarse en el mismo *chip*, no obstante, han sido los nanotubos de carbono los que fusionan excelentes cualidades mecánicas, térmicas y eléctricas que les convierte en material idóneo; el diámetro de este material permite el paso de fluidos por su interior y la retención de partículas suspendidas en el fluido, cualidad que abre la brecha a novedosas alternativas como celdas electroquímicas, biosensores y laboratorios en un *chip*. Algunos puntos clave de la metodología de los MEMS definitivamente no se adaptarán simplemente a la escala nano<sup>32</sup>, erigiéndose diferentes desafíos en el desarrollo de esta tecnología: desde la implementación de técnicas eficientes para la nanofabricación en grandes volúmenes, reproducibles y con gran resolución (que eviten los defectos en las interfaces y daños en la superficie y material)<sup>33</sup>, así como la manipulación serial y de empaquetado en la escala nanométrica; la integración eficiente de elementos mecánicos con componentes electrónicos en un sistema completo; el desarrollo de mecanismos eficientes para la transducción y detección de desplazamientos en la escala nanométrica; la disminución del amortiguamiento, parámetro que mide la capacidad de un sistema o componente para absorber energía mecánica y disiparla en forma de calor (energía térmica) o deformación permanente (energía plástica); hasta la implementación de normas que regulen la fabricación, utilización, seguridad e higiene de los nuevos dispositivos (Herrera y otros, 2010; Poole y Owens, 2007; Ke y Espinosa, 2005).

Por el momento la microtecnología MEMS de componentes o subsistemas ha captado el interés de México y China, con trayectorias temporales muy diferentes de desarrollo. Su

---

<sup>32</sup> A medida que disminuye la escala, surgen una serie de problemas físicos que deben resolverse para poder manipular objetos a tal escala. Hay parámetros como la tensión superficial en el caso de los fluidos o las fuerzas de Van der Waals, que son despreciables a escalas micrométricas pero no a escalas nanométricas (Vázquez, 2010).

<sup>33</sup> En los NEMS tiene cabida dos enfoques de microfabricación: 1) el enfoque de arriba hacia abajo que contempla las técnicas tradicionales de litografía limitada por la resolución de estos métodos, pero que permite un alto grado de control sobre las estructuras resultantes. Para la fabricación de nanoestructuras se puede utilizar la litografía de haz de electrones y de rayos X, el primero utiliza un haz que barre una superficie punto por punto con una resolución de 10 nanómetros de forma seriada, pero no produce estructuras lo suficientemente rápido para formar parte de un proceso en línea de manufactura de componentes, mientras que el segundo puede reproducir plantillas en una superficie con una resolución de 20 nanómetros, pero la tecnología de máscara y los sistemas de exposición son costosos y complejos para aplicaciones prácticas; 2) y el enfoque de abajo hacia arriba que parte de las propiedades químicas de las moléculas individuales haciendo que sus componentes se auto ensamblen o auto organicen en una conformación útil, es un método que construye nanoestructuras mediante enlaces estables entre moléculas y sustatos orgánicos o no orgánicos, permitiendo la fabricación de estructuras muy pequeñas pero el control de la fabricación es limitado (Poole y Owens, 2007; Ke y Espinosa, 2005).

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.

**PLANTEAMIENTO:** Como consecuencia de la crisis del 2001-2002 se llevo a cabo una reestructuración de la industria electrónica a nivel global. En particular, México transitó de un modelo de producción en esta industria de alto volumen-baja mezcla (*high volume-low mix*) a uno de bajo volumen-alta mezcla (*low volume-high mix*), denotando así una tendencia hacia la producción de nuevos productos y procesos de mayor complejidad tecnológica (Dabat, Dussel Peters, Ordoñez, Palacios Lara). China por su parte, ha sido el receptor de la relocalización de varias actividades principalmente de alto volumen y bajo valor agregado anteriormente realizadas en México. Además ha implementado programas para la formación y desarrollo de habilidades de los trabajadores del conocimiento (término acuñado por Peter Drucker cuya definición incluye al personal de ciencia e ingeniería, así como directores y profesionales especializados en áreas tales como comercialización, servicios legales y diseño industrial, los cuales proveen servicios de apoyo esencial para investigación, desarrollo e ingeniería), con el objetivo de expandir su base de conocimiento tecnológico. México por otro lado, aspira a insertarse en la llamada “Red Global de Innovación” (Ernst), llevando a cabo algunos programas para la formación de ingenieros y técnicos en actividades de alta tecnología (véase el caso del clúster electrónico de Jalisco que según palabras de Palacios Lara ha resurgido como el “Nuevo milagro mexicano” al direccionar parte de las actividades del clúster hacia aquellas de mayor valor agregado y atendiendo la construcción de un parque especializado en Tecnologías de la Información en sólo unos cuantos años). Como consecuencia, se entrevé una competencia más álgida entre México y China, situación en la que sí China se pone al día en capacidades tecnológicas equiparando a sus pares asiáticos (Japón o Corea), puede muy bien desplazar a México en actividades actualmente ejecutadas por nuestro país, generándose un desplazamiento aún más patente o bien podría esperarse que los procesos de innovación en la industria

electrónica en México fueran lo suficientemente importantes para resguardar ciertos nichos específicos<sup>34</sup>. 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 efectos tiene en términos de productividad, valor agregado y empleo? ¿Qué estrategias territoriales se están emprendiendo por ambos países para apropiarse del valor agregado?

## **HIPÓTESIS:**

Para tener presencia en la carrera tecnológica de la innovación electrónica, las estrategias de China y México se decantan por procesos y productos que representan focos de innovación tecnológica<sup>35</sup> (FIT) significativos, coincidiendo con aquellas tecnologías de las que se derivan innovaciones frugales. Es decir, tecnologías que aporten soluciones de bajo costo para problemas locales, cuya creatividad tiene siempre en mente la restricción de recursos (materiales y capital) en un entorno de debilidad institucional, optando por desechar lo irrelevante y ajustándolo a la medida de las necesidades en demanda por consumidores de bajos ingresos. Y esto se enfoca específicamente para el caso de los Sistemas Micro Electromecánicos o MEMS, cuya integración en las redes globales de innovación puede muy bien “baja ciertas condiciones”, convertirse en un catalizador que acelere el desarrollo y difusión de capacidades locales de innovación<sup>36</sup>.

---

<sup>34</sup> De acuerdo a Dussel Peters, México tiene una amplia oportunidad de especializarse en la configuración final de productos y servicios, y en segmentos con alto valor agregado que requiera entrega rápida al mercado y/o implique la consideración de los costos de transporte. En consecuencia, los productos potenciales a producir en México serían aquellos que implican altos costos de transporte (productos grandes y pesados), productos que demanden una supervisión rigurosa de ingenieros por la exigencia tecnológica, productos de ciclo de vida corta y productos regulados o favorecidos por las regulaciones arancelarias, fiscales, del medio ambiente, etc. (Dussel Peters, 2007:290-295; 2008/a:20 y 21). Watkins añade también, que la posibilidad se perfila en aquellos artículos cuya protección de la propiedad intelectual sea importante, sobre todo en la etapa temprana de desarrollo del producto mientras alcanza su tiempo de maduración (Watkins, 2007:163).

<sup>35</sup> Éste concepto abarca en su comprensión, “aquellas situaciones en las cuales un grupo o red de actores ha generado alguna innovación tecnológica que pueda tener un efecto dinamizador en alguna actividad económica y que genere sinergias en la región en su conjunto” (Montero y Morris:17).

<sup>36</sup> Ernst Dieter considera que para los países en desarrollo, la integración a una CGP plantea un dilema fundamental. Por un lado, la alta movilidad de los recursos y capacidades específicas de las empresas puede incrementar la difusión y conocimiento entre las empresas, traspasando las fronteras nacionales. Sin embargo, esto no garantiza el escalamiento industrial, ya que la integración a la red puede igualmente erosionar las fuentes de ventajas competitivas de un país y desgastar las fuerzas del clúster existente, truncando sus posibilidades de escalamiento industrial. La integración a la red de algunos proveedores en segmentos o estadio más altos puede incrementar la polarización entre las empresas que tienen y las que no tienen acceso a

**1er. OBJETIVO:** Explorar las oportunidades que surgen con la incursión del desarrollo de capacidades en micro-tecnologías en México, específicamente en la tecnología MEMS y determinar su importancia en los retos de desarrollo social y de competitividad global.

**2do. OBJETIVO:**

- a) Determinar el tipo de innovación que se desarrolla en cada país para evaluar si existe un patrón exitoso en los procesos de innovación de los MEMS.
- b) Identificar el tipo de intercambio de conocimiento y la naturaleza o grado de subordinación tecnológica de los dos países, México y China dentro de las redes globales de conocimiento para establecer, si la transferencia o derrama tecnológica puede direccionarse hacia el desarrollo de encadenamientos endógenos.
- c) Evaluar las diferentes estrategias de los dos países para posicionarse dentro de la cadena global de los MEMS, además de plantearse si disponen de los medios adecuados (instrumentos jurídico-normativos, socioeconómicos, educativos y productivos) para su inserción competitiva.

**3er. OBJETIVO:** Plantear una propuesta de política pública a nivel nacional para el impulso de la tecnología MEMS en México. Manteniendo en mente la perspectiva de endogeneidad territorial<sup>37</sup> y la forma específica de “competitividad sistémica”, en la formulación de instrumentos que articulen una estrategia nacional para el desarrollo de capacidades de innovación que eleven el nivel de competitividad de la industria de los MEMS. Considerando los posibles efectos hacia el bienestar de la sociedad, ya que en un contexto de libre mercado y de globalización, es vital plantearse los retos y oportunidades que implica la vinculación con redes globales de conocimiento y sus potenciales alianzas, que se rigen por su propia racionalidad (ahorro en costos y maximización de ganancias) de alcance global, pero en cuya negociación debe existir un margen en el que prevalezca un

---

la información y conocimiento, filtrando los beneficios de la participación en la red. Para beneficiarse de la difusión efectiva del conocimiento, las empresas y los distritos industriales necesitan políticas apropiadas con un apoyo institucional activo, y un profundo entendimiento de la dinámica competitiva global (Ernst, 2001).

<sup>37</sup> Concepto que abarca la forma específica en que los territorios se relacionan, en este caso con la cadena electrónica de valor desde una perspectiva regional para determinar las particularidades del territorio, en cuanto a “su integración de segmentos de valor específico, que determinan las características socioeconómicas según los procesos y productos que realizan, el tipo y tamaño de empresas que repercuten en la especificidad industrial y empresarial; necesidades de financiamiento, tecnológicas, capacitación, I&D, orientación al mercado doméstico o externo, de escalamiento (*upgrading*), etc.” (Dussel Peters, 2007/c).

nivel de consenso y cooperación para impulsar el crecimiento y desarrollo económico nacional.

La tesis consta de los siguientes capítulos y se ajusta en cierta medida al enfoque de la competitividad sistémica (para lograr la “eficiencia colectiva y conformación de redes internas en territorios específicos”) en relación al proceso de innovación de la tecnología MEMS, compenetrándose con la estructura de la tesis de la siguiente forma:

En el primer capítulo de esta investigación, se presenta una serie de elementos teóricos que entretejen algunos conceptos y teorías económicas para dar cuenta de la ventana de oportunidad en los países en desarrollo que representa la llamada estrategia de “innovación tardía<sup>38</sup>” en la cadena de valor de los MEMS. Aunado con la idea anterior, se introduce el concepto de innovación frugal, considerándose ser más apropiado por definir con mayor claridad las características que conforman el tipo de innovación plausible en países en desarrollo. Se analizan los aspectos que caracterizan al grupo de actores o red con este tipo de estrategia en la generación de innovaciones tecnológicas con un potencial efecto dinamizador en la industria electrónica y en particular de los MEMS.

En el segundo capítulo se delinea la configuración global de la cadena de valor de los Sistemas Micro Electromecánicos o MEMS, es decir, la organización de esta industria en sus distintos segmentos, quiénes emprenden el liderazgo y qué canales de competencia lo determinan, el peso o importancia que esta industria tiene, así como el pronóstico de su desempeño dentro del sector de los semiconductores. En sentido estricto, la cadena de valor describe el rango de las actividades que empresas y trabajadores hacen desde la concepción hasta el uso final y más allá, incluyendo actividades tales como el diseño, la producción, comercialización, distribución y apoyo al consumidor final. Se aclara que la elaboración de este capítulo se hizo apartir de la información disponible de dos consultorías, IHS iSuppli de origen americano y Yole Développement de origen francés, por lo que la información es muy limitada y no se cuenta con suficientes datos sobre la comercialización y ventas de los MEMS, salvo algunas cifras sobre los ingresos por concepto de ventas a nivel muy

---

<sup>38</sup> Paradigma observado por Ernst Dieter en los países asiáticos.

agregado. De igual forma, el tema sobre el valor agregado se encuentra sesgado por la escasa información disponible, presentándose algunas estimaciones de la contribución a nivel regional del valor agregado en la cadena de valor de los MEMS. Hasta la fecha existe una gran variedad de dispositivos MEMS desde acelerómetros, giroscopios, dispositivos ópticos, MEMS de radiofrecuencia, micrófonos, dispositivos microfluídicos, sensores de presión, sensores de flujo, sensores infrarrojos y otros, con aplicaciones en prácticamente todas las industrias. Cada año ingresan nuevos dispositivos MEMS a un mercado cuyo comportamiento es extremadamente dinámico. Dada la gama tan amplia de dispositivos MEMS, se tomó como ejemplo el desglose del costo de un micrófono MEMS para estimar la aportación o valor agregado de los segmentos que abarcan el diseño y la producción, puesto que los datos técnicos y financieros son susceptibles de obtenerse de los reportes especializados de la consultoría francesa Yolé Development, no habiendo información disponible para estimar los segmentos de comercialización, distribución y apoyo al consumidor final. Por otro lado, en las conclusiones preliminares se realiza un acercamiento a nivel meta o comprensión de los factores que inciden en la capacidad de la sociedad para integrar una estrategia consensuada dirigida a innovar, dando cuenta de la relevancia que representan los aspectos culturales en la complejidad del proceso creativo de los MEMS.

En el tercer capítulo, se describe el panorama a nivel macro de la innovación en China y México, mediante las políticas de ciencia y tecnología de ambos países a partir de una serie de indicadores que inciden en la innovación tales como el gasto en I&D, reserva de recursos humanos en investigación, patentes y producción de artículos científicos, política arancelaria y otras variables como la balanza de pagos tecnológica para apalancar la innovación. Al mismo tiempo se realiza un acercamiento a nivel meso<sup>39</sup> que da cuenta de la forma en que el Estado y los demás actores (centros de I&D, universidades y empresas) se

---

<sup>39</sup> Es la “dimensión donde se generan las ventajas competitivas institucionales y organizativas, los patrones específicos de organización y gestión y los perfiles nacionales que sustentan las ventajas competitivas y que son difícilmente imitables por los competidores”. En este nivel los diferentes actores sociales y el Estado diseñan las políticas orientadas a la formación de estructuras coadyuvantes al desarrollo de las empresas y a la articulación de procesos de aprendizaje a nivel de la sociedad. Además en este nivel se conjugan mecanismos, políticas e instituciones que atañen a la competitividad de sectores individuales y en su conjunto, tanto público como privado y de organizaciones no gubernamentales, así como relaciones inter o intraempresa (Dussel Peters, 2003/b: 26 y 27).

interrelacionan para desarrollar capacidades de innovación tangibles, mediante la implementación de una política de ciencia y tecnología en la industria de los MEMS.

En el cuarto capítulo, la innovación se aborda a partir de una dimensión micro, es decir, se documentan estudios de caso derivados de proyectos de investigación con tecnología MEMS realizados en instituciones académicas de ambos países, México y China. En este capítulo:

- a) Se describe el tipo de innovación en proceso, ya que el objetivo en todos estos proyectos es comercializarse una vez que se ha logrado un prototipo funcional, denotando la cooperación mutua entre empresa y centro de investigación.
- b) Se identifican los actores de la cadena de valor de los MEMS a nivel local y global en cada estudio de caso, con los cuales se mantiene la cooperación, y así determinar el nivel de integración con las cadenas globales de innovación.
- c) Y se establece la situación de la patente o los derechos de propiedad intelectual, para tener una idea general sobre la distribución de los beneficios de la innovación.

## **CAPÍTULO I. LA INNOVACIÓN EN LA CADENA ELECTRÓNICA DE VALOR**

### **1.1 Introducción**

En este primer capítulo se exponen 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 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 comprender 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” (Piore, 2007). 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.

Posteriormente 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. 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 prerequisite indispensable el conducir endógenamente investigación básica<sup>40</sup> (Ernst, 2009:7-13). Por otro lado, la propuesta de una clasificación sobre la gobernabilidad desde el enfoque de Gereffi, Sturgeon y Humphrey enfatiza 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.

Se suma de igual forma el aporte de David J. Teece para explicar la complejidad en la captación de ganancias o rentas por una empresa innovadora en el contexto de una cadena global de valor, implicando tres elementos en su determinación: la evolución industrial o paradigma del diseño dominante, el régimen de apropiación y la complementariedad. De igual forma se incorpora una tipificación de las rentas económicas propuesta por Alejandro Dabat, Miguel Ángel Rivera y Sebastián Sztulwark para situar en perspectiva una vía posible de captación de rentas (o ganancias) por países en desarrollo dentro de las cadenas globales de valor a través de “las rentas internacionales de aprendizaje”. Se hace especial énfasis en los factores internos o la incapacidad social que imposibilitan la incorporación del progreso técnico a través del aprendizaje e innovación. También se recurre al modelo de la Triple Hélice para dar una idea más clara de cómo los agentes sociales (Estado, Empresa y Universidad) más representativos de los países pueden constituir el entramado institucional que acelere el ritmo en la creación de innovaciones. Y por último, se incorpora el concepto de competitividad sistémica que analiza los diferentes factores a nivel “micro, macro, meso y meta” que repercuten en el desempeño competitivo y capacidad de innovación de las empresas.

---

<sup>40</sup> Lewis Mumford en su libro “Técnica y Civilización”, sostiene la idea de que la ciencia al establecer la ley general sobre el comportamiento de los fenómenos en la naturaleza, establece las bases para guiar la invención de forma deliberada y sistemática. Ser remite a ejemplos tales como: “Sólo después que Lord Kelvin hizo un análisis científico del problema que presentaba el cable telegráfico transoceánico pudo ser éste aprovechado. Recién pudo utilizarse el impulso de la hélice en los barcos de vapor cuando Mitchell explicó el comportamiento de los fluidos viscosos. Sólo después de que Pupin y otros realizaron invenciones sistemáticas en los laboratorios de Bell, fue posible utilizar el teléfono para largas distancias” (Mumford, 1945:394).

## **1.2 La taxonomía de la innovación y el concepto de innovación tardía según Dieter Ernst**

Dieter Ernst en un intento por definir a la innovación<sup>41</sup> en forma más precisa, matiza el concepto de Shumpeter en un sentido de mayor amplitud, al considerarlo como el proceso de convertir ideas, invenciones y descubrimientos en “nuevas combinaciones de recursos existentes para crear, mejorar y comercializar productos, servicios, procesos y modelos de negocio dirigidos al mercado y hacia las necesidades sociales (Ernst, 2008/b:2). Este proceso requiere de capacidades intensivas de innovación que incluyan habilidades, conocimientos y técnicas de dirección necesarias para crear, cambiar, y mejorar artefactos exitosamente. La piedra angular de la innovación se concentra en la capacidad de absorción de la empresa, que depende de una base propia de conocimiento autónomo existente y su continuo esfuerzo en detectar la utilidad del conocimiento científico y tecnológico generado por universidades y /o laboratorios gubernamentales, susceptibles de virtual comercialización (Ernst, 2009:7).

El nuevo paradigma de innovación que emerge de la región asiática es de sumo interés para entender el potencial de oportunidad que se abre a los países en desarrollo para su integración en la dinámica global, donde la aplicación de nuevas ideas, conceptos, productos, servicios y prácticas, requiere un renovado ethos económico que permita de forma plausible un desarrollo sustentable para cada país (en el sentido de que los países enfrentarán profundos cambios como resultado de nuevas necesidades de la población mundial, causando desequilibrios espaciales, generacionales y ambientales a los cuales deben adaptarse).

La meta de esta región se ha enfocado en “intentar combinar la contratación de conocimiento internacional por parte de las empresas líderes con el desarrollo competitivo de ingeniería y capacidades de investigación interna de dicha región” (Ernst, 2004/b:13).

---

<sup>41</sup> Dussel Peters, considera que existe una amplia literatura sobre la innovación a nivel tecnológico de los productos, sin embargo, no se considera la innovación de los procesos dentro de los segmentos de la cadena de valor, visión reduccionista que deja fuera de campo a los procesos de alta tecnología de muchos productos pseudo-calificados de baja tecnología (Dussel Peters, 2008/b).

Ernst utiliza tres herramientas teóricas para dar cuenta de las estrategias de innovación tardía empleadas en la región de Asia:

- 1) Utiliza la taxonomía de innovación provista por Henderson y Clark, para explicar las oportunidades factibles por parte de los innovadores tardíos al concentrar su interés en las innovaciones incrementales y arquitectónicas. Las innovaciones difieren con respecto a las oportunidades y barreras al aprendizaje que se presenta ante las empresas para implementar un tipo particular de innovación, distinguiéndose de acuerdo a la clasificación de Henderson y Clark en innovación incremental, modular, arquitectónica y radical (Ernst, 2009:7).
  - a) La innovación incremental se construye a partir de la experiencia de la empresa en el dominio de diseño de componentes y su arquitectura, remitiéndose al mejoramiento en productos existentes y procesos (por ejemplo, innovaciones en la organización de manufactura, distribución, servicios de apoyo, en el diseño para aumentar la confortabilidad del uso de un producto, etc.). Esta innovación no requiere de substanciales insumos de ciencia y las barreras a tales mejoramientos son relativamente bajas, las herramientas y metodologías son familiares, y la inversión tiende a ser baja y predecible. Se construyen sobre capacidades existentes de ingeniería y operacionales, así como de conocimiento en la dirección de cadenas de suministro, relaciones de clientes y sistemas de información (Ernst, 2009:8).
  - b) La innovación modular introduce nuevas tecnologías de componentes y se conecta a un sistema arquitectónico intransmutable (este tipo de innovación representa las características principales de la industria de la computadora personal, por ejemplo, nuevos componentes tecnológicos para memoria de computadoras, almacenaje, dispositivos *display*<sup>42</sup>, etc.). Esta innovación presenta alta dificultad tecnológica, para lo cual necesita de científicos e ingenieros experimentados en varios campos y requiere de fuertes inversiones (por ejemplo, se necesita más de 4.5 billones de dólares para una planta de semiconductores en estado del arte o de vanguardia) (Ernst, 2009:9).

---

<sup>42</sup> Dispositivos que aceptan señales de video de una computadora y plasman la información en forma visual en una pantalla.

- c) La innovación arquitectónica es “aquella que cambia la arquitectura de un producto sin cambiar sus componentes”, sólo cambia la forma en que funcionan juntos (por ejemplo, el *switch* electrónico HJD04 que optimiza las características específicas de la red de telecomunicaciones en China y se adapta a las necesidades específicas de los proveedores del servicio). Requiere de un profundo conocimiento del mercado para explorar nuevos terrenos en el desarrollo del producto. Esta innovación demanda fuertes capacidades de integración del sistema y estrategia comercial, requiriendo insumos de ciencia e inversión en menor medida que las innovaciones modular y radical (Ernst, 2009:10)
- d) La innovación radical involucra nuevas tecnologías de componentes y cambios del diseño arquitectónico, además de exigir en preámbulo adelantos sustanciales de los mismos; otorga como gran atractivo para las empresas el control de los derechos de propiedad intelectual de la tecnología exitosa (por ejemplo, nuevos fármacos, la invención que en su momento fueron innovaciones radicales: el microprocesador y el internet). La innovación radical necesita de la interacción entre la ciencia de liderazgo realizada por científicos e ingenieros, quienes trabajan en la frontera de la investigación básica y aplicada con un amplio rango de disciplinas. Además se nutre de un amplio conjunto de ventajas complementarias y de intensivas inversiones (en las que probablemente el Estado participe vigorosamente), implicando gran costo y riesgo de fracaso.

2) El otro concepto complementario son las tecnologías disruptivas de Christensen, a partir del cual se demuestra que los líderes de mercado integrados verticalmente basan su liderazgo en la adopción de nuevas tecnologías de componentes, mientras que la trayectoria exitosa de los recientes innovadores se encuentra en las innovaciones arquitectónicas. Para su justificación se identifican dos posibles explicaciones. La primera argumenta que para el diseño arquitectónico, la complejidad tecnológica (riesgo, tiempo y gasto de inversión) es mucho menor que para el desarrollo de nuevos componentes clave, además de incluir efectos de largo alcance en la participación y beneficio de empresas innovadoras. Y la segunda explicación plantea, la existencia posible de suficientes clientes que paguen por estas nuevas tecnologías y se beneficien realmente de su uso. Los productos basados en

tecnologías disruptivas, por lo general, consisten en ser más simples, baratas, pequeñas y frecuentemente más confortables para su uso (Ernst, 2004/b:14).

3) Y por último Ernst recurre al concepto de “integración de sistemas complejos”, para explicar las capacidades con las cuáles deben contar las empresas en el manejo de sistemas tecnológicos complejos. Se incluyen cuatro conjuntos de capacidades: sistemas de integración (diseñar e integrar componentes y subsistemas dentro de un sistema); sistemas de operación (mantener, renovar y operar sistemas a través de los ciclos de vida); asesoría de negocios (ofrecer consejo y soluciones a las necesidades específicas del cliente); y financiamiento (proveer a los clientes con ayuda para comprar nuevos sistemas intensivos en capital). El dominio de estas habilidades es la meta ideal a la cual aspiran los países en desarrollo, denotando el riguroso talento que se exige para ser competitivo en forma tardía (Ernst, 2004/b:15).

### **1.3 El proceso interpretativo de la innovación de Michael Piore y Richard Lester**

Para Piore y Lester por otro lado, la innovación es la habilidad para generar una fuente de nuevos productos y mejorar los existentes en una forma crecientemente eficiente, dependiendo de dos procesos fundamentales que ellos denominan: análisis e interpretación<sup>43</sup>. (Piore y Lester, 2004:6).

El análisis es el proceso a partir del cual se lleva a cabo una elección racional para resolver un problema determinado, siendo este enfoque dominante en la dirección industrial y práctica de ingeniería. Por ejemplo, “en el diseño de un nuevo producto, el primer paso del desarrollo del producto busca definir un objetivo claro, usualmente basado en la investigación de las necesidades del cliente y entonces, identifica tanto los recursos (humanos, financieros y técnicos) que son posibles para lograr la meta, así como las

---

<sup>43</sup> “Los procesos analíticos funcionan mejor cuando los resultados alternativos son bien entendidos y pueden ser claramente definidos y distinguidos unos de otros. Los procesos interpretativos son más apropiados cuando los posibles resultados son desconocidos, cuando la tarea es crear aquellos resultados y determinar cuáles son sus propiedades realmente. Estas dos formas de procedimiento involucran diferentes tipos de capacidades, diferentes formas de trabajo conjunto, diferentes formas de control directivo y autoridad, y por último, diferentes formas de pensar la economía”. Estos procesos se encuentran en constante oposición pero no por eso dejan de ser complementarios. (Piore y Lester, 2004:6).

restricciones de estos recursos” (Piore y Lester, 2004:7 y 174). Se procede a dividir el problema en una serie de componentes asignándoles un especialista en turno y posteriormente se reunifican en forma rápida y eficiente. Sin embargo esta visión entraña la dificultad, de que sí no se ha encontrado previamente la solución, no se puede imaginar las partes constitutivas del problema, además de que no siempre se cuenta con un problema bien definido, si bien éste de alguna forma proviene desde el cliente o consumidor, éste no siempre tiene claro lo que desea o necesita. Por esta razón Piore y Lester, infieren que en el proceso de innovación se involucra además un proceso diferente al que llaman proceso de interpretación (un punto de vista acerca del consumidor, una nueva idea para un producto, un nuevo enfoque para producir o entregar), el cual implica entrar a una dimensión desconocida o incierta en el diseño que no puede ser descrita de forma analítica. En las entrevistas realizadas por Piore y Lester en sus estudios de caso, se tenía la conciencia de esta dimensión incierta del diseño, a lo cual, los directores de diseño de las empresas respondían que “buscaban dirigirla de una forma deliberada y auto-consciente, como algo distinto de la actividad de resolver problemas...en sus expresiones para describir este proceso se orientaban a la idea de que la innovación pareciera ser un proceso fortuito, al azar, materia de prueba y error, misterioso y tal vez un poco mágico” (Piore y Lester, 2004:41-42). En este sentido el proceso de interpretación se asimila más bien a “una comunidad lingüística”, que a partir de ciertas reglas gramaticales y un vocabulario determinado se constituye en un nuevo lenguaje y su comprensión o sentido de las palabras se contextualizan en un diálogo delimitado por un rango de posibles significados<sup>44</sup> (Piore y Lester, 2004:79). La comunicación entre participantes de diferentes antecedentes formativos y puntos de vista puede conducir a la ambigüedad o mal interpretación, por lo cual el papel de un director se enfoca más bien a remover las barreras organizacionales<sup>45</sup> entre diferentes interlocutores para traer a la mesa, iniciar y mantener las conversaciones,

---

<sup>44</sup> Piore y Lester argumentan que el desarrollo e introducción de nuevos productos es similar al desarrollo de nuevas comunidades lingüísticas. Se remiten a la observación de que la atracción hacia nuevos productos surge cuando las personas “empiezan a hablar radicalmente de nuevos productos en formas radicalmente nuevas” (a través del chateo en internet por ejemplo). La analogía también funciona, en el nivel en que el desarrollo del producto reúne a diferentes especialistas con un lenguaje específico alcanzando una etapa, “en la que la ambigüedad puede ser claramente reconocida y que el intercambio de ideas da lugar al enriquecimiento”, es decir, la construcción de un lenguaje o entendimiento común con el transcurrir del tiempo (Piore y Lester, 2004:73).

<sup>45</sup> En muchos ambientes económicos la conversación es inhibida por el miedo a revelar ventajas competitivas y no es infrecuente un ambiente de suspicacia y desconfianza (Piore y Lester, 2004:60).

así como refrescar los tópicos de tiempo en tiempo entre los individuos y grupos involucrados en la búsqueda de innovaciones (diseñadores, ingenieros y clientes). El desarrollo del nuevo lenguaje de la comunidad dota a los participantes de una capacidad de discernimiento entre la ambigüedad o simple confusión por las nuevas interpretaciones, lo cual en turno conduce potencialmente a la innovación del producto (Piore y Lester, 2004).

En el proceso de interpretación, las necesidades del consumidor se articulan en la interacción continua de diseñador-cliente, de forma que se crean o moldean nuevos productos (que no habrían sido anticipados en el resultado final) en base a la conversación continuamente retroalimentada por las propuestas del cliente y la visión de ideas plasmadas por parte del diseñador. El reto del diseñador es tratar de descifrar los gustos y comportamiento del cliente en el contexto social donde se desenvuelve. Por lo al intento de interpretar el mundo del cliente, el diseñador debe mirar en dos dimensiones diferentes y contradictorias del diseño. Una es la forma en la cual un objeto de diseño entra o podría entrar en el mundo del cliente, es decir, “el diseñador desea hacer el objeto listo a la mano, transparente pero no completamente invisible, presente y accesible al cliente para alcanzarlo inmediatamente cuando lo necesite sin pensar. El otro es el objeto como estilo, un signo o señal de donde el cliente se encuentra parado en el universo social<sup>46</sup>. Por ello, el objeto necesita tener alta visibilidad” (Piore y Lester, 2004:80). Se advierte que la evolución de los productos muchas veces es conducida por las empresas en el sentido de que las necesidades aún no conscientes de los clientes son inducidas por la visión premonitoria o “seguimiento del instinto” de los diseñadores<sup>47</sup>.

Sin embargo, la dificultad de que en una empresa se desenvuelva el proceso interpretativo lo atribuye Piore y Lester, a la contradicción inherente inmersa en el ámbito económico, ya que este proceso implica “cooperación, transparencia y revelación”, además de suponer

---

<sup>46</sup> Piore y Lester, exploran el simbolismo del producto del cliente al asociarlo como vínculo de pertenencia a un grupo, pero también como expresión propia de individualidad con respecto al grupo. Por ejemplo, en el diseño de jeans holgados, el estilo se remite a la manifestación de la cultura urbana norteamericana de los años 60s, conocido como hip hop, cuya influencia atribuye como dato notorio que la holgura del pantalón de mezclilla se prestaba a ocultar armas o contrabando, en referencia indirecta a la violencia generada en los guetos neoyorquinos.

<sup>47</sup> Al respecto Piore y Lester relatan la experiencia de Chrysler con la introducción de una cuarta puerta en la configuración de la minivan, que en principio por razones de seguridad esta propuesta no era bien recibida por el consumidor, pero que logró convencer gracias a la lectura interpretativa de los diseñadores sobre las necesidades no conscientes del consumidor.

confianza en la intencionalidad de un consenso discursivo por parte de los interlocutores, mientras que la competencia por otro lado fomenta el “oportunismo, el ocultamiento de información y confidencialidad”. La configuración de las empresas en las últimas décadas ha experimentado intensos cambios por la globalización, el cambio tecnológico y la desregulación de muchas industrias, que da cuenta del incremento acelerado en la competencia, reduciendo el alcance de la conversación e interpretación en la industria privada. Por esta razón proponen espacios públicos en los cuáles fluyan libremente las conversaciones y broten ideas, sin el riesgo de que la apropiación privada de la información socavará o truncará la discusión. A lo largo de sus investigaciones, encontraron cuatro espacios públicos: el interior de la empresa misma, distritos industriales, procesos regulatorios (foros públicos que se ha convertido en el centro del debate político) y la universidad<sup>48</sup>.

### **1.3.1 Espacios públicos que favorecen el proceso interpretativo de la innovación**

Es de destacarse de estos espacios públicos el ámbito regulatorio que se concibe como “un lenguaje, un conjunto de reglas y tal vez un vocabulario, creando también un espacio de ambigüedad para la interpretación. Las compañías que están ausentes de éste proceso en el cual las regulaciones son desarrolladas y evolucionan con el tiempo, son como extranjeros tratando de entender a un nativo” (Piore y Lester, 2004:134). Esta idea surgió específicamente por la experiencia de la empresa Matsushita, que al haberse retirado del negocio de la infraestructura del teléfono celular y conservar sólo la producción y distribución del aparato en sí, no fue convocada para formar parte del consejo de la Comisión Federal de las Comunicaciones (*Federal Communications Commission, FCC*)<sup>49</sup> de Estados Unidos, desventaja que se ha convertido en una barrera no arancelaria y que ha

---

<sup>48</sup> En realidad son cinco incluyendo los medios de comunicación y las artes. Es un espacio que se relaciona más bien con la difusión de las tendencias de moda incorporadas en los productos mediante la publicidad y su impacto cultural en los consumidores.

<sup>49</sup> La Comisión Federal de las Comunicaciones (*Federal Communications Commission, FCC*) de Estados Unidos es una agencia estatal independiente, bajo responsabilidad directa del Congreso. La FCC fue creada en 1934 encargada de la regulación (incluyendo la censura) de telecomunicaciones interestatales e internacionales por radio, televisión, redes inalámbricas, satélite y cable. La FCC otorga licencias a las estaciones transmisoras de radio y televisión, asigna frecuencias de radio y vigila el cumplimiento de las reglas creadas que garanticen tarifas de servicios por cable razonables (*Federal Communications Commission*).

obstaculizado su visión sobre la evolución tecnológica bajo este régimen regulatorio, situación que además le ha privado de liderar la industria y captar ganancias extraordinarias. En Europa en cambio, las regulaciones<sup>50</sup> se han encaminado a la convergencia tecnológica de una serie de interfases estandarizadas entre los componentes de la infraestructura del teléfono celular. A pesar de las piezas intercambiables de esta infraestructura para la construcción híbrida de este dispositivo (es decir, en un sistema heterogéneo combinando por ejemplo, una estación base de Nokia con un *switch* de Ericsson), se han generado problemas cuya localización y eliminación desde su origen ha implicado altos costos. La fragmentación o modularización del diseño “requiere de inter operatividad (o compatibilidad) de estándares que permitan el diseño de productos y componentes de forma independiente para trabajar dentro de un sistema tecnológico (laptop, teléfono celular)” (Piore y Lester, 2004). Con respecto a la compatibilidad de estándares, Ernst lo considera crítico para permitir la participación del conocimiento a través de las redes globales de innovación y necesaria para la integración de diversas comunidades de conocimiento en diferentes localidades (Ernst, 2009:3). La formulación de estándares o normas específicas que regulan la realización de ciertos procesos o la fabricación de productos para garantizar su operatividad, es resultado de la discusión entre las diferentes partes interesadas (exceptuando muchas veces a los consumidores directos salvo casos excepcionales como la organización conformada por pacientes con sida) tratando de comprender qué es lo que realmente está en juego en la arena regulatoria, qué es lo que la sociedad está tratando de lograr, qué técnicas o fuerzas sociales están colisionando en la realización y cómo operan (Piore y Lester, 2004:138 y 141). El papel de la regulación es prevenir las fallas del mercado cuando éste no funciona eficientemente, (causando daños colaterales que afectan al medio ambiente, a la salud del trabajador, y otros aspectos), de modo que concilien los intereses de las empresas y la sociedad en su conjunto. Al efecto de la necesaria imparcialidad en éste espacio, Piore y Lester expresan su preocupación por la posible cooptación en el medio, es decir, que se emplee personal que

---

<sup>50</sup> *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) es una organización sin fines de lucro que elabora estándares globalmente aplicables para tecnologías de la Información y Comunicación incluyendo telefonía fija, móvil, convergentes, aeronáutica, transmisión y tecnologías de internet. Este organismo representa administraciones públicas, operadores de redes, fabricantes, proveedores de servicios y usuarios (European Telecommunications Standards Institute).

labore en centros regulatorios y representen los intereses privados de la empresa, dejando de ser el espacio que refleje fielmente la pluralidad social.

Otro espacio público de interés es la universidad, lugar propicio al desenvolvimiento interpretativo necesario para la innovación, que ha encontrado una recepción favorable particularmente en el sistema de educación superior estadounidense estableciendo vínculos colaborativos con la industria, a través de programas y políticas que fortalecen la transferencia rápida y eficiente de tecnologías. Los investigadores de la universidad aportan la habilidad intuitiva de enfocarse en temas relevantes que muchas veces se integran a un propósito práctico (aliviar el desempleo, el descubrimiento de una cura, el desarrollo de una fuente renovable de energía, etc.) denotando a su vez una preocupación manifiesta por el bienestar público. La motivación social como referente valorativo dentro de las universidades, no está presente en las motivaciones inmediatas de la empresa que busca en principio ganancias financieras, dejando de lado las consecuencias indeseables de la actividad económica (quema de carbón por las fábricas, destrucción de la capa de ozono, y otros efectos negativos), al menos que la regulación lo obligue a asumir la responsabilidad en el ámbito social. En el proceso interpretativo dentro de la universidad, la conversación se direcciona hacia el avance de la frontera del conocimiento o hacia un propósito público concreto, ampliando el rango de debate a una serie de participantes de múltiples disciplinas traspasando muchas veces los muros del ámbito de la universidad. El interés de la empresa en ser interlocutor dentro de este espacio, radica en la posibilidad de participar activamente y llevar a primer término en sus negocios, lo último de la discusión sobre campos relevantes discutidos en la universidad, y también influenciar en la dirección futura de los planes de estudio de estas instituciones (Piore y Lester, 2004). Cohen y Levienthal “demuestran que una empresa necesita apoyar una masa crítica de investigación básica interna que sea capaz de identificar y explotar potencialmente la ciencia útil y el conocimiento tecnológico generado por universidades o laboratorios gubernamentales, y ganar ventaja en la explotación de las nuevas tecnologías (Ernst, 2009:7). La tendencia a dirigir la investigación realizada en la universidad hacia las necesidades de la industria, ha generado un debate en torno a las consecuencias posibles en el esquema interpretativo, ya que se teme pueda ser menos abierto y permeable al punto de vista analítico (en el que priva un carácter fuertemente determinado por el valor comercial), desencadenando la

competencia entre la universidad y sus facultades por los derechos de propiedad intelectual, afectando de este modo la importante contribución del espacio interpretativo<sup>51</sup>. (Piore y Lester, 2004: 150-163).

Piore y Lester consideran que los procesos analíticos e interpretativos son contradictorios esencialmente pero mutuamente necesarios para la innovación y comprensión del diseño y desarrollo de productos. Por lo general, prevalece el enfoque analítico que busca fortalecer y extender el dominio de la competencia de mercado. Pero es necesario por otro parte, la perspectiva que apunta en dirección contraria, es decir, hacia la protección de espacios protegidos (o aislados de la competencia) en donde se puedan sostener conversaciones públicas a través de una diversidad de actores económicos mediante un lenguaje compartido, donde el riesgo de apropiación de información es reducida, donde las acciones sean menos probables de ser malentendidas, y donde los malentendidos tengan directamente pocas consecuencias (Piore y Lester, 2004:170-176).

#### **1.4 La innovación frugal**

Recientemente en los ámbitos académicos y de negocios se propone un nuevo enfoque de innovación viable comercialmente que abarque los segmentos desfavorecidos de la sociedad, la llamada “innovación frugal”, dirigida hacia cualquier producto o servicio específicamente ajustado a las necesidades de países en desarrollo, con referencia en particular a China e India y su población rural. También conocida como ingeniería frugal (cuyo producto emblemático es el Tata Nano o auto más barato en el mercado), innovación

---

<sup>51</sup> No significa que Piore y Lester idealicen el ambiente universitario, ya que están conscientes de las limitaciones que acarrea su estructura disciplinaria, la cual está fragmentada en especialidades, representando una barrera a las conversaciones orientadas hacia la transición de las fronteras, aspecto considerado crítico para la innovación del producto y la preservación del espacio público. Entienden, que en una comunidad de investigación académica existe también el ánimo de competencia entre los investigadores inhibiendo en cierto modo la conversación, sin embargo, prevalece una clase de ética en este ámbito que es asumida deliberadamente con la meta práctica de mantener fluyendo información vital, ya que el reconocimiento de los colegas y su colaboración directa e indirecta es básica para el avance intelectual.

Gandhi<sup>52</sup> o a la inversa, el término ha sido popularizado a partir de un reporte especial escrito por Adrian Wooldridge<sup>53</sup> en la revista *Economist*.

Las ideas precursoras que han contribuido al interés sobre la innovación frugal, van desde el discurso económico sobre la tecnología apropiada<sup>54</sup>, la discusión acerca de la ingeniería esbelta y la ingeniería de reversa<sup>55</sup>, la discusión financiera que aboga por la inversión de impacto, hasta la misma discusión de analistas políticos en torno a la colaboración pública-privada para la reducción de la pobreza y la desigualdad (Bhatti y Ventresca, 2012). El pensamiento de Schumacher<sup>56</sup> por ejemplo, espléndidamente expuesto en el libro “*Small is beautiful*”, explica con gran fidelidad los principios en torno a la discusión de la tecnología apropiada, al dar cuenta de que el enfoque neoclásico de la producción en masa y la transferencia de tecnología hacia los países en desarrollo no garantiza necesariamente una economía sustentable. De modo que se inclina a favor de un enfoque que enfatiza la “necesidad de tecnologías apropiadas a condiciones locales (creencias y especificidades), adaptadas a la corriente económica y recursos disponibles, evitando el desplazamiento humano o degradación ambiental” (Bhatti y Ventresca, 2012:25). Otro antecedente teórico al concepto de innovación frugal es la innovación disruptiva descrita por Clayton Christensen<sup>57</sup> como el proceso por el cual “cualquier producto<sup>58</sup> o servicio radica inicialmente en aplicaciones sencillas en la parte inferior de un mercado y luego asciende con ímpetu desplazando a los competidores establecidos”. Aquellas *star-ups* que más estrechamente se vinculen a los consumidores serán probablemente las que desarrollen este

---

<sup>52</sup> Esta definición adopta dos principios del pensamiento de Mahatma Gandhi, el cual manifestó la idea de premiar aquellas innovaciones que benefician a todos y que la tierra provea para satisfacer las necesidades de los hombres pero no su codicia (Pralhad y Masklekar, 2010: 3).

<sup>53</sup> Es director editor de la revista *Economist* y escribe la columna Schumpeter en dicha publicación.

<sup>54</sup> De acuerdo a Kaplinsky esta idea surge en los años de 1960, en reconocimiento de que el mayor progreso tecnológico global había sido dirigido a satisfacer las necesidades de la riqueza global y diseñado para operar en países desarrollados de altos ingresos (Bhatti y Ventresca, 2012).

<sup>55</sup> Técnica para revelar las características, tecnologías y re-fabricación de un producto.

<sup>56</sup> Schumacher fue un economista alemán discípulo de John Maynard Keynes, cuyo pensamiento respecto a la inclusión de sabiduría en la tecnología para desarrollar métodos y equipo, además de un cambio de mentalidad, recomendaba tres ideas básicas: ser bastante barato de forma que sean accesibles virtualmente a cualquiera; ajustables para la aplicación a pequeña escala; y compatibles con las necesidades del ser humano (Pöpperl, 2009:9).

<sup>57</sup> Clayton Christensen en su libro “*The Innovators Dilemma*” examina minuciosamente datos históricos de diferentes industrias, atribuyendo las fallas de las compañías exitosas a la excesiva confianza en las prácticas de negocios que los condujeron en un principio al éxito.

<sup>58</sup> Un producto elaborado a partir de una innovación disruptiva por lo general es más barato, más pequeño, más simple y frecuentemente más conveniente para su uso (Christensen, 1997).

tipo de innovaciones y que al madurar gradualmente amenacen con substituir las tecnologías existentes. En sus etapas iniciales los negocios disruptivos pueden constar de las siguientes características: menores márgenes brutos, mercados objetivo más pequeños y, productos y servicios más simples que aparentemente no parezcan tan atractivos como las soluciones existentes cuando se compara con las medidas tradicionales de rendimiento (utilizadas por los clientes para comparar el producto) (Clayton Christensen *website*).

Principalmente dos ideas giran alrededor de la innovación frugal: el cliente es el que manda y las economías de escala pueden reducir radicalmente el costo por unidad. El punto de partida de las empresas son los consumidores más pobres que han sido excluidos de la economía de mercado, para quienes se produce productos radicalmente más simples<sup>59</sup> hasta reducirlos a sus características más esenciales, con el fin de disminuir costos. Además las innovaciones frugales necesitan ser fácilmente adaptables<sup>60</sup>, sin considerarse por ello de segunda mano, es decir, los productos son elaborados a partir de tecnologías de punta satisfaciendo la obsesión de estos mercados hacia el valor por el dinero y las últimas tendencias. A riesgo de no coincidir en una definición exacta de la innovación frugal, Priscilla Burgess<sup>61</sup> añade que la innovación frugal se enfoca en el uso primario y utilización de materiales baratos, abundantes y seguros que tienen rápida reposición, reutilización y son reciclables, reduciendo de esa forma el riesgo ambiental. En los métodos de simplificación el producto se adapta a los servicios (se reduce el costo de transporte) y empleo local, que por lo general es poco calificado.

En el diseño de productos, la innovación frugal implica indudablemente también el repensar procesos de producción y modelos de negocios. De acuerdo con Adrian

---

<sup>59</sup> Una pieza maestra de la simplificación es el electrocardiograma portátil, el Mac 400, diseñado por *General Electric*, cuyo manejo se ha reducido a cuatro botones y se le ha integrado una pequeñísima impresora (utilizada en máquinas portátiles expendedoras de tickets). Este producto se vende en 800 dólares en lugar de 2000 dólares, costo habitual de electrocardiogramas convencionales, reduciendo también a un dólar el costo del electrocardiograma por paciente (Wooldridge, 2012).

<sup>60</sup> Wooldridge explica que hay entornos rurales, donde se ha introducido un tipo de banco ambulante, gracias a sólo un teléfono celular y un scanner de huellas digitales, funcionando como ATM (*Automatic Teller Machine*-máquina expendedora para realizar transacciones bancarias).

<sup>61</sup> Cofundadora y junto con otras personas creadora de *Materiales Bellwether*, compañía que fabrica la línea de aislamiento de edificios verdes, hecha de un subproducto agrícola. Es una incansable consultora que a lo largo de su experiencia ha desarrollado varios modelos y opiniones acerca de la mejor manera de hacer crecer un negocio floreciente.

Wooldridge para reducir costos las empresas han recurrido a tres exitosas formas: subcontratar<sup>62</sup>, usar tecnologías existentes en imaginativas formas y aplicar técnicas de producción en masa en nuevas e inesperadas áreas. Bajo estas circunstancias, se ha instaurado en Asia un modelo de negocios preferentemente orientado hacia un escalamiento horizontal (*scaling out*) que implica un amplio rango de personas en la producción y distribución cuyas redes flexibles se reestructuran constantemente.

En el reporte de la revista *Economist*, Adrian Wooldridge menciona que los dos países distintivos en que se revoluciona las innovaciones bajo el concepto frugal, lo asumen a partir de su propia idiosincrasia. Así, su referencia en el contexto hindú se deriva del término Juggad, expresión que sugiere una apertura a la improvisación y a las ideas externas en búsqueda de la ruta más simple para resolver un problema complejo. Su transcripción en el lenguaje económico expresa la introducción de innovaciones al mercado a pesar de los recursos limitados. Prahalad<sup>63</sup> y Masherlkar en su estudio sobre las empresas innovadoras de la India coinciden en que el éxito de las mismas (muchas de ellas respaldadas por el gobierno) responde a dos factores fundamentales: la tecnología involucrada, la cual puede ser comprada, adaptada, sintetizada o construida desde el inicio; y la capacidad de organización, comprendiendo aquellas competencias, conocimiento y destrezas que la empresa debe aplicar con el fin de ser exitosa. En la interacción de estas variables la empresa puede trastocar un modelo de negocio utilizando capacidades existentes pero a bajo costo, o bien crear nuevas capacidades. Consideran que la innovación Gandhi conduce a tres tipos de innovación en el que se desafía de forma simultánea la concepción tradicional del producto, proceso, empaque y precio: 1) modelos de negocios disruptivos, en el cual la empresa adopta las tecnologías occidentales pero crea a su vez un modelo de negocios que altera completamente la economía de una industria<sup>64</sup>; 2) la

---

<sup>62</sup> La empresa hindú Bharti Airtel reserva su control únicamente a la venta de llamadas telefónicas, delegando las operaciones de la red a Ericsson, el soporte del negocio a IBM y la gestión de las torres de admisión a empresas independientes. Ericsson por su parte se ha obligado a negociar su participación a través del cobro por minuto más que por la venta e instalación de equipo (Wooldridge, 2012).

<sup>63</sup> C. K. Prahalad fue profesor de estrategia en “*University of Michigan Ross School of Business*”. Mientras que R. A. Mashelkar labora en el Laboratorio Químico Nacional en Pune, India, habiendo sido director del Consejo de Ciencia e Investigación Industrial de la India y colaborando también en los consejos de *Reliance Industries* y *Tata Motors*.

<sup>64</sup> Este modelo agrupa la experiencia de los proveedores hindúes de software y servicios, que han creado metodologías permitiendo la división del trabajo de forma que muchas de las fases pueden llevarse a cabo

modificando de las capacidades organizacionales, donde algunas empresas hindúes han sintetizado muchas tecnologías alterando las habilidades de diseño o el rápido despliegue de recursos en gran escala<sup>65</sup>; 3) surgimiento de la necesidad de crear o adquirir nuevas capacidades para resolver un problema, lo cual requiere muchas veces de desarrollo de tecnología o un enfoque más colaborativo para obtener experiencia técnica<sup>66</sup>. La meta de las empresas hindúes “es crear una oferta de bajo costo con presupuestos reducidos”.

En cuanto a la contribución de los chinos a la innovación frugal, se sustenta en el uso de redes flexibles fortalecidas por el guanxi o las relaciones personales en los negocios con el fin de reducir costos e incrementar la flexibilidad<sup>67</sup>. Las cadenas de suministro personalizadas acordadas por el guanxi tiene numerosas ventajas: pueden contraerse o expandirse según la demanda y se pueden convertir en máquinas generadoras de innovación, ya que a los participantes se les alienta a no sólo cumplir con los pedidos, sino también participar en la soluciones (Wooldridge, 2010). Por otro lado, el sobresaliente desempeño de los chinos en la innovación de piratería conocida como shanzai sorprende por su imitación o producción de copias, aprovechando las debilidades legales de los derechos de propiedad.

Se han consolidado algunas condiciones ante el intenso crecimiento de Asia favoreciendo la innovación frugal, tales como el surgimiento de un espíritu bucanero (aventurero e inescrupuloso) que nace de una mezcla de optimismo y arrogancia. Conllevando a fusiones

---

fuera de las instalaciones de la empresa, absorbiendo el talento de ingenieros a bajo costo (Pralhad y Mashelkar, 2010:3).

<sup>65</sup> Un ejemplo es *Computational Research Laboratories* parte del *Tata Group*, que ha desarrollado una de las computadoras más rápida del mundo (posicionándose en el cuarto lugar). Esta empresa optó por el uso de la tecnología de fibra óptica fabricando una computadora de doble velocidad de datos y utilizando el sistema operativo Linux, reduciendo comparativamente el costo del equipo de refrigeración en un 50% y en un 20% el sistema operativo (Pralhad y Mashelkar, 2010:4).

<sup>66</sup> Este tipo de innovación está representado por el auto Nano de 2,000 dólares fabricado por la empresa *Tata Motors*, la cual recurrió a componentes con especificaciones de diversas multinacionales (*Bosch* de Alemania fabricó el sistema de dirección, *Institute and Trilix* de Italia diseñó el exterior, *Toyo* de Japón fabricó la máquina de refrigeración, etc.) y a empresas nacionales (*Sona Koyo* de India fabricó ejes de dirección con peso ligero, *Madras Rubber Factory* fabricó los neumáticos traseros, etc.) (Pralhad y Mashelkar, 2010:4).

<sup>67</sup> Otros países como Vietnam ofrecen mano de obra más barata que China, sin embargo, cuenta todavía con condiciones muy favorables además del bajo costo del trabajo, una infraestructura razonable, cadenas de suministro sofisticadas y la ventaja de la escala de producción. Cuando la demanda surge para un producto en particular, las grandes empresas chinas pueden disponer de miles de trabajadores extra a una línea de producción en cuestión de horas (From Brawn to Brain. *The Economist*, March 10, 2012).

y adquisiciones que según Nirmalaya Kuman de “*London Business School*”, constan de dos factores importantes: el dinero y la flexibilidad. Por un lado, la combinación del rápido crecimiento y la reestructuración interna en expansión ha dejado a muchas empresas asiáticas con abundante disponibilidad de efectivo (el margen de ganancia se calcula en 10% en promedio, el doble habitual en comparación al occidente). Y por otro lado, la propiedad es tan concentrada que facilita a las empresas la aceptación de riesgos. Los negocios familiares y los empresarios fundadores con grandes participaciones en las empresas están dispuestos a apostar a largo plazo en el crecimiento y no tienen que preocuparse por la pérdida de control de sus compañías si los dividendos de sus acciones sufren caídas (Wooldridge, 2010:7). Las empresas asiáticas de propiedad estatal son organizaciones que guardan cierto parecido a las empresas del siglo XVI-XIX<sup>68</sup>, no son estrictamente empresas de gestión privada ya que obtienen su financiación del gobierno a base de tasas subsidiadas. El panorama actual de recesión impulsa a la búsqueda de manufacturas más baratas y fuentes de talento que generan ciertamente cadenas de conocimiento más complejas, cadenas de suministro e interdependencia transfronteriza (Prahalad y Masklekar, 2010: 2) Con la innovación frugal se busca reducir costos que doten a las empresas de la habilidad para desarrollar y manufacturar versiones de productos a bajo costo para los mercados de masas.

### **1.5 Redes globales de innovación**

Entre las características comunes de las redes globales de producción (RGP)<sup>69</sup> y redes globales de innovación (RGI), estas últimas enfocadas en el diseño y desarrollo del producto, así como el desarrollo de investigación básica y aplicada son: la asimetría (la organización jerárquica, en la que la empresa líder domina y define la organización y estrategia de la red); gran variedad de estructuras de gobernabilidad (vínculos formados con reglas precisas, procesos de negocios comunes e infraestructura de información compartida); e intercambio de conocimiento y complementación de capacidades.

---

<sup>68</sup> Wooldridge encuentra una cercana similitud de las empresas asiáticas actuales con la Compañía Británica de las Indias Orientales, fundada en Londres en el año de 1600 con el propósito de aglutinar a los comerciantes ingleses para defender sus intereses comerciales en el sudeste de Asia.

<sup>69</sup> El esquema teórico de la Red Global de Producción (RGP) estriba en dos temas en particular: la transformación de las empresas transnacionales (ET) en líderes de la RGP y la manufactura por contrato como fenómeno difusor del conocimiento, y detonador del desarrollo de capacidades locales.

La RGI refleja un cambio en la estrategia empresarial para integrar el modelo de innovación, dando lugar a tres características:

- La innovación es fragmentada y dispersa a través de las fronteras geográficas, sectoriales y de empresas. En las distintas redes globales de innovación los distintos modelos de negocio e integración de interfases en el diseño, concentran equipos de trabajo de empresas que difieren en tamaño, poder de mercado, localización y nacionalidad.
- Las empresas complementan la I&D doméstica con la subcontratación y otorgamiento de licencias de autorización de uso.
- La innovación en el modelo de operaciones y negocios es tan importante como los nuevos productos y servicios.

Dieter Ernst percibe que la innovación permanece aún concentrada geográficamente, porque el conocimiento tácito todavía se intercambia a través de redes sociales incrustadas en instituciones locales (universidades, centros de I&D, *start-ups*, capital de riesgo, servicios legales y de apoyo intensivo al conocimiento) (Ernst, 2008/a: 555). En un esfuerzo por identificar el tipo de retroalimentación tecnológica, utiliza la taxonomía propuesta por Kuemmerle, distinguiendo entre laboratorios de I&D en el extranjero de explotación de base doméstica y el incremento de la base doméstica. La primera definición tiene su razón de ser en la transferencia de conocimiento de la base doméstica para comercializar en mercados externos. El requerimiento clave para la investigación en el extranjero es la adaptación de productos, servicios y procesos de producción a la dotación de recursos y necesidades locales. Por contraste, el segundo concepto ha aumentado en importancia durante las últimas décadas del siglo XX, su racionalidad reside en la subcontratación de conocimiento externo para aprovechar el nuevo conocimiento del *cluster* de innovación localizados en el extranjero, transfiriendo el conocimiento a la base doméstica de las transnacionales, y en combinación con diversas tecnologías se da origen a nuevos productos y procesos. Por lo tanto, el aumento de I&D en el extranjero requiere mucho más que la ingeniería adaptativa, incluyendo desarrollo de productos, así como investigación básica y aplicada (Ernst, 2008/a:560).

### 1.5.1 Tipología de las redes globales de innovación

La concertación de una gran variedad de vínculos internacionales de conocimiento es posible debido al impacto vital de la globalización en el espacio de la geografía económica. Sin embargo, la innovación permanece vinculada a lugares específicos, pese a la rápida dispersión de mercados, finanzas y producción, siendo la principal causa la propia naturaleza interactiva de la innovación, que requiere intenso intercambio de conocimiento entre productores y usuarios, mucho del cual es conocimiento tácito. Tal transferencia de información se ha localizado en el *cluster*, distritos industriales o micro regiones, revelando la importancia de la aglomeración de economías que facilita un intercambio robusto, continuo y rápido de nuevas ideas acerca de los mejoramientos técnicos, organizacionales y productivos. (Ernst, 2000: 6). Dieter Ernst considera que la mezcla de diversas fuentes nacionales e internacionales de conocimiento es un reforzamiento para compensar la débil estructura productiva y el deficiente sistema de innovación<sup>70</sup> de los países en desarrollo.

Ernst Dieter introduce una tipología de Redes Globales de Innovación<sup>71</sup> clasificándolas en:

- 1) Redes intraempresa. Las empresas globales subcontratan etapas de innovación a sus subsidiarias.
- 2) Redes interempresa. Las empresas globales subcontratan etapas de innovación a proveedores especializados.
- 3) Empresas locales. Construyen sus propias redes (en su mayoría a nivel intraempresa).
- 4) Consorcio internacional de I&D entre empresa y sector público.
- 5) Redes sociales informales. Comunidades de conocimiento especializado que facilitan la transmisión y comparten el conocimiento tácito crítico (estudiantes y trabajadores del conocimiento) (Ernst, 2009:16).

---

<sup>70</sup> Dieter Ernst puntualiza que los países en desarrollo comparten cuatro características que no son tomadas en cuenta en la teoría del sistema nacional de innovación: estructuras económicas altamente heterogéneas que restringen las economías de aglomeración; instituciones económicas inestables y débiles que obstruyen la eficiencia del aprendizaje; limitada base doméstica de conocimiento induciendo a la búsqueda de acceso a fuentes de conocimiento externo que se convierte en el principal vehículo de aprendizaje y de formación de capacidades; alta vulnerabilidad a la volatilidad de los mercados financieros, inhibiendo al capital necesario para el desarrollo de la base doméstica de conocimiento. (Ernst, 2000:4).

<sup>71</sup> Esta taxonomía se desprende de los diversos estudios sobre la industria electrónica en Asia, pero se asume por el momento como una clasificación general.

Las ventajas de la subcontratación de innovación multiplican las oportunidades de diversificación tecnológica, acelerando la velocidad del ciclo de innovación y reduciendo los costos fijos de la inversión interna en I&D. De manera que las empresas globales buscan integrar geográficamente localidades dispersas dentro de redes de producción, ingeniería, desarrollo e investigación, adjudicándose una nueva fuente de ventaja competitiva que rápidamente “generará más innovaciones de mayor valor a bajo costo”(Ernst, 2006/b:23). En cuanto a los países en desarrollo, el acceso a fuentes de conocimiento externo les brinda la oportunidad de usar tecnologías externas que pueden aumentar sus capacidades de innovación doméstica (Ernst, 2006/b: 18).

### **1.6 La gobernabilidad en la cadena electrónica de valor**

La transformación de la economía global para Gary Gereffi no sólo se limita al análisis del flujo de bienes, capital y servicios más allá de las fronteras nacionales, sino también las implicaciones en la estrategia nacional de desarrollo de los países afectados por la reorganización constante de las industrias y su integración en las cadenas de valor agregado<sup>72</sup>, escenario en el cual interactúa la ventaja comparativa de los países y la ventaja competitiva de las empresas<sup>73</sup>. Bajo el enfoque de Gereffi, los patrones de competencia cambiantes en todo momento se forjan en torno a la interacción de tres elementos: la tecnología, las instituciones y las innovaciones organizacionales incrustadas en las cadenas globales de valor. Sin embargo, el fenómeno de fragmentación en el proceso de producción y su relocalización geográfica a escala global ha revelado una paradoja compleja: “la actividad económica se incrementa en términos de producción y empleo, pero no necesariamente incrementa los niveles de desarrollo o reduce la pobreza en los países exportadores” (Gereffi, 2005).

---

<sup>72</sup> Gary Gerrefi retoma este concepto de Bruce Kogut definido como “el proceso por el cual la tecnología se combina con materiales y trabajo, y entonces los insumos procesados son ensamblados, comercializados y distribuidos. Una empresa puede consistir en un sólo vínculo del proceso, o puede estar verticalmente integrada” (Gereffi, 2004).

<sup>73</sup> La ventaja comparativa de un país se enfoca en tópicos tales como relación gobierno-empresa, mercado laboral, estado de bienestar, internacionalización de capital y sistema de innovación. En cuanto a la ventaja competitiva de la empresa tiene que ver con la decisión de la misma sobre las actividades y tecnologías dentro de la cadena de valor en que debería concentrarse (Gereffi, 2005).

El cambio en la estructura y dinámica de las cadenas globales de valor<sup>74</sup> que plantea Gereffi se explica a partir de la evolución histórica de dos modelos de desarrollo nacional que han dominado en las últimas décadas del siglo XX, como marco estratégico de los países en desarrollo: el modelo de industrialización por sustitución de importaciones (ISI) y la industrialización orientado a las exportaciones (IOE)<sup>75</sup>. A mediados del s. XX con el modelo de la ISI, las empresas transnacionales de países centrales (o desarrollados) verticalmente integradas, operaban en los países periféricos<sup>76</sup> (o en desarrollo) a través de sus subsidiarias extrayendo recursos naturales para la exportación, involucrándose en la producción local para abastecer los mercados nacionales o captando fuentes externas de trabajo abundante y de relativo bajo costo (Gereffi, 2005:165). La transición a la IOE en la década de los 80s del siglo XX, fue promovida por instituciones internacionales tales como el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial, sustentada por el milagro económico del este de Asia al lograr desde los años 70s hasta mediados de los años 90s,

---

<sup>74</sup> Gary Gereffi anteriormente utilizaba el término de cadena de producción global (CPG) definida por Hopkins y Wallerstein como “una red de trabajo y proceso de producción cuyo resultado final es un *commodity* terminado. Pero ante la crítica de que el *commodity*, implica la fabricación de bienes indiferenciados con bajas barreras a la entrada (disponibilidad y demanda mundial, que poseen un rango de precios internacional y no requieren gran tecnología para su fabricación y procesamiento). No se diferencian por la marca, esto sucede, porque la mayoría de las veces los productos no generan un valor adicional al cliente, es decir, no tienen un valor agregado. Por esa razón decidió utilizar el término “cadena de valor” para describir el amplio rango de actividades que empresas y trabajadores realizan para traer un producto desde su concepción hasta su uso final y más allá. Estas actividades incluyen tanto diseño, producción, comercialización distribución y soporte al consumidor final. Las actividades que comprenden una cadena de valor pueden ser realizadas por una empresa o compartida entre diversas empresas. La importancia de la cadena de valor es comprender la división de múltiples tareas entre empresas y su dispersión a través de amplias franjas del espacio geográfico, de ahí el término de cadena global de valor (Global Value Chains).

<sup>75</sup> La industrialización orientada hacia las exportaciones se fundamenta esencialmente en el modelo Heckscher- Ohlin-Samuelson en torno a las “ventajas comparativas de costos”. Este modelo parte de los supuestos de mercados perfectamente competitivos y eficientes, completa movilización de factores homogéneos de producción, pleno empleo, nulos costos de transacción, sustitución limitada entre factores de la misma industria entre diferentes países, tecnología idéntica y rendimientos a escala constantes y la utilización intensiva del factor productivo más abundante de cada país, con el fin de concentrarse en aquellos sectores económicos más eficientes y de esta forma, encauzarlos a la exportación. Varios autores como Balassa Bela, Nishimizu/Page e instituciones internacionales como el Banco Mundial sustentan esta ideología que en síntesis, considera que la productividad total de los factores, la transferencia de tecnologías, los ingresos de divisas y el empleo se incrementarán y proporcionarán mayores ingresos en las naciones respectivas. Se enfatiza también, la importancia de la estabilidad macroeconómica, específicamente en políticas fiscales y cambiarias, para garantizar certidumbre a los agentes del sector privado. Consecuentemente, si el mecanismo exportador funciona, se logrará a futuro el equilibrio de la balanza de pagos, este último, considerado el talón de Aquiles de las economías en vía de desarrollo. (Dussel Peters, 2003; Dussel Peters, 1997; Guillén, 1984).

<sup>76</sup> Gary Gereffi se remite a conceptos de la teoría del sistema-mundo, donde la movilidad de los países en centro, semi-periferia y periferia, obedecen al modo de incorporación de cada país al sistema del capitalismo mundial, cuya dinámica se determina por el proceso de industrialización y la división del trabajo a escala global desde una perspectiva histórica (Gereffi, 2005:161).

prósperas exportaciones y altas tasas de crecimiento per cápita en un contexto de baja desigualdad, alto desempeño educativo y niveles máximos de ahorro e inversión nacional. Las empresas transnacionales viraron desde entonces hacia redes de producción global que asemejaban una telaraña, subcontratando actividades relativamente estandarizadas en locaciones de producción de bajo costo y fungiendo como líderes al controlar información y recursos entre diversas empresas independientes e interconectadas.

Gereffi en principio distingue dos tipos de cadenas globales, dirigidas por dos tipos de empresas líderes: productores y compradores. Las cadenas dirigidas por los productores son dominadas por grandes empresas manufactureras tales como General Motors e IBM, estableciendo más vínculos con filiales de transnacionales y fabricando productos más intensivos en capital y tecnología (autos, aviones, electrónica compleja y maquinaria pesada). Para industrias de alta tecnología como la electrónica, la cadena dirigida por el productor debe combinar costos competitivos, con diferenciación de productos y velocidad al mercado (Gereffi, 2005).

El segundo esquema en contraposición, enfoca su atención en el rol poderoso de los detallistas tales como Wall-Mart, Sears Roebuck, J. C. Penny o las exitosas compañías de marca como Nike, Reebok y empresas vinculadas al mundo de la moda como Liz Claiborne, Carolina Herrera, y otras, destacando el papel que juegan en la gobernabilidad de la producción y comercialización global. Pocos compradores globales son propietarios de sus propias fábricas deviniendo en realidad, en fabricantes sin fábricas y/ sin almacenes de venta, el volumen de sus compras influye en los proveedores al especificar con gran detalle qué, cómo, cuándo, dónde y por quién los productos que ellos venden serán producidos. Los productos son relativamente simples (ropa, utensilios para casa y juguetes), ya que la innovación depende más del diseño del producto y la comercialización, que del *know-how* en la manufactura, facilitando a las empresas líderes la subcontratación de la producción. El poder de mercado que poseen les permite amplias concesiones en el precio, obligando a sus proveedores a ubicarse en locaciones de bajo costo. Las ganancias de este tipo de cadena de producción derivan de “combinaciones únicas de investigación de alto valor, diseño, ventas y comercialización, así como servicios financieros”, permitiendo a

estas empresas líderes “vincular fábricas y comercializadores en el extranjero con nichos de productos en expansión en sus principales mercados de consumo” (Gereffi, 2001/a:16).

Posteriormente Gereffi adiciona una tercera forma de dirigir la cadena de valor a la que llama “cadena orientada por Internet”, impulsada por el comercio electrónico (*online*) que consiste en utilizar Internet como instrumento de compra-venta y de captación de mercado. El cambio tecnológico en este medio continúa extendiendo su capacidad de desarrollo con conexiones más rápidas y la conexión a la *web* de diversos dispositivos, al mismo tiempo Gereffi enfatiza que el comercio electrónico involucra también cambios profundos en la organización de empresas, estructuras de mercado, regulaciones gubernamentales y experiencia humana. En esta forma de coordinación de la cadena, prevalecen dos tipos de comercio electrónico importantes hoy en día: el de empresa a consumidor y de empresa a empresa. El primero es en relación a la transferencia de productos y servicios al consumidor<sup>77</sup>, mientras que el segundo se refiere a la obtención, logística y procesos administrativos entre las empresas (cadena de suministro). Mientras tanto, el comercio electrónico en las cadenas dirigidas por el productor y comprador se reflejará con el tiempo en dos posibles efectos: una gran capacidad de crear mercados a escala y con nivel de eficiencia sin precedente, y el impulso radical en la estrategia de negocios, al proporcionar de forma instantánea información para el inventario y entrega de los productos cuando existe una demanda real de los consumidores finales<sup>78</sup>.

El tema de la coordinación o gobernabilidad<sup>79</sup> es de suma relevancia para Gereffi, destacando que se encuentra en permanente evolución y dando lugar a que nuevas estructuras de gobernabilidad coexistan e interactúen con formas anteriores. Se rige la gobernabilidad en un sentido jerárquico con efectos asimétricos, a partir del cual la empresa

---

<sup>77</sup> Gereffi advierte que en el comercio empresa a consumidor, ha surgido un modelo de empresa o sitio *web* que concentra y vincula información de varias fuentes acerca de bienes y potenciales clientes, también empresas que concentran información acerca de clientes y mercados para otras empresas. Este fenómeno se conoce como *Infomediaries*.

<sup>78</sup> Gereffi explica que el comercio electrónico incidirá en la tendencia de la producción dirigida por la demanda, donde se fabrica en respuesta a una orden confirmada por el consumidor final (*build to order*) (Gereffi, 2001/b).

<sup>79</sup> La gobernabilidad se comprende como “el control intra o interempresa dentro de una cadena global, siendo que ciertas empresas (líderes) se ven en la posibilidad de dictar, coordinar o especificar los productos, partes y componentes, así como sus respectivos procesos” (Dussel Peters, 2003).

líder determina la división del trabajo e influye directamente en las capacidades de los participantes (proveedores especializados y subcontratistas) en el escalamiento dentro de la cadena de valor (Gereffi, 2005). Gereffi, Sturgeon y Humphrey distinguen cinco posibles tipos de gobernabilidad<sup>80</sup> (que no son estrictamente estáticas o monolíticas y en algunos casos su naturaleza se traslapa) en la cadena de valor, identificando para el caso de la industria electrónica dos tendencias<sup>81</sup>: 1) la forma modular, en donde los proveedores tienen la capacidad de ofrecer el paquete completo y/o módulos, asumiendo la total responsabilidad por el proceso tecnológico, utilizando maquinaria genérica y produciendo conforme a especificaciones del cliente (pero manteniendo el impulso directo de control y monitoreo por el comprador), esta modalidad parece jugar cada vez más un rol central a medida que la estandarización y los esquemas de codificación mejoran<sup>82</sup> y 2) hacia las cadenas de valor relacional, en las que frecuentemente se crea dependencia mutua fomentada por la confianza y reputación que se construye con el tiempo, trascendiendo la subcontratación como una forma para complementar competencias entre las empresas (Gereffi, Sturgeon y Humphrey, 2005). En la tipificación de la gobernabilidad contemplan tres factores: 1) la complejidad de información y conocimiento transferido necesario para mantener una transacción con respecto a las especificaciones en productos y procesos; 2) el punto hasta el cual la información y el conocimiento pueden ser codificados y se ahí transmitirse eficientemente y 3) la capacidad de los potenciales proveedores en relación a los requerimientos de la transacción.

---

<sup>80</sup> Estos autores construyen teóricamente estas categorías en base a casos empíricos clasificándolas en: cadenas de valor modular, cadenas de valor relacional, cadenas de valor cautivo, de mercado y jerárquica.

<sup>81</sup> El poder de regulación de la cadena de valor puede ejercerse por ambos extremos de la cadena, es decir, por arriba de la cadena empresas por ejemplo como Intel y Microsoft, imponen un conjunto de parámetros a los que deben ajustarse las demás empresas, sobre las cuales no se ejerce una coordinación explícita pero su influencia es patente en el dominio comercial de componentes clave y tecnologías. Por debajo de la cadena el usuario altamente informado puede jugar un rol importante al determinar atributos y trayectorias de innovación en el producto y servicios en la cadena global de valor (Geri, Sturgeon y Humphrey, 2005:98).

<sup>82</sup> Se desprende, por ejemplo, del diseño de productos computarizados y tecnologías de proceso automatizado, la preocupación por la obsolescencia tecnológica y el riesgo de filtración de propiedad intelectual.

## 1.7 La captura de las ganancias de la innovación

En las cadenas globales de valor<sup>83</sup>, la empresa líder soporta la principal responsabilidad para maximizar las ganancias que ésta divide entre sus socios y proveedores, coordinando la red de participantes para desarrollar y fabricar un producto innovador, con la finalidad de maximizar el valor de mercado de dicha innovación. La estrategia de la empresa líder para maximizar el excedente producido y capturar el mayor valor de su innovación depende principalmente de impedir que los rivales erosionen su ganancia. Para llevar a cabo esta estrategia erigen barreras a la entrada que persisten con el tiempo e imponen altos precios generando sobreganancias o rentas económicas. Estas barreras o mecanismos de aislación, pueden abarcar desde regulaciones gubernamentales (por ejemplo franquicias de televisión por cable), patentes, control sobre fuentes de materias primas, marcas o ventajas a causa de una situación extraordinaria (Dedrick, Kraemer y Linden, 2008).

De acuerdo con el enfoque de David J. Teece<sup>84</sup>, los factores que determinan el valor que una empresa capta por su esfuerzo innovativo en una cadena de valor, se explica a partir de tres elementos: la evolución industrial o paradigma del diseño dominante, el régimen de apropiación y la complementariedad.

- a) Evolución industrial o paradigma del diseño dominante. Por lo general, en las primeras etapas de una industria existe un abanico de posibles soluciones del producto sin que un determinado estándar ejerza el control absoluto, cada empresa disputa su presencia en el mercado para predominar sobre los demás (pero no significa que no puedan coexistir varios estándares a la vez como los casos de estándares de teléfonos celulares o estándares de videojuegos) (Dedrick, Kraemer y Linden, 2008: 4). En la determinación de este estándar o patrón, Teece asume que

---

<sup>83</sup> La cadena global de valor se refiere a todas las funciones de una empresa, desde el concepto inicial hasta la provisión de productos complementarios y/o actividades de soporte, para lograr la satisfacción de necesidades del consumidor (Dedrick, Kraemer y Linden, 2009).

<sup>84</sup>En el documento *"Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy"* David J. Teece intenta explicar porque muchas veces las empresas innovadoras fallan en obtener retornos significativos, mientras que los clientes, imitadores y otros participantes de la industria se benefician. En este análisis también se provee de fundamentos teóricos para la propuesta de que la manufactura es importante, particularmente para las naciones innovadoras. Cree firmemente que las empresas innovadoras sin el requisito en relación a la capacidad de manufactura pueden desaparecer e implica un reto en la política económica local.

existen dos etapas en el desarrollo evolutivo de una rama de la ciencia: la pre-paradigmática, etapa en la cual no hay un concepto general aceptado para el tratamiento del fenómeno en el campo de estudio y la etapa paradigmática, cuando un cuerpo de teorías parece haber aprobado los cánones de aceptabilidad científica. De ahí que la emergencia de un paradigma dominante señale la madurez científica y la aceptación del acuerdo de estándares, al menos hasta que el paradigma es derrocado. La existencia de un diseño dominante es significativo en la distribución de los beneficios entre innovadores y seguidores, ya que aunque el innovador puede haber sido responsable del gran avance científico así como del diseño básico del nuevo producto, si la imitación es relativamente fácil, los imitadores pueden modificar el producto en diversas formas basándose fundamentalmente en el diseño pionero del innovador (Teece, 1986).

En la interrelación dinámica de industrias de tecnologías de la información y electrónica, entran otro tipo de factores en juego (aparte de lo mencionado anteriormente), puesto que al introducir un nuevo producto probablemente éste requerirá del acceso y coordinación con otras innovaciones que le confiera valor a los usuarios. “Las tecnologías en el corazón de los productos electrónicos tienen una alta tasa de cambio, así que las barreras a la entrada son muchas veces de poca duración y la dirección (de la empresa líder) debe ser capaz de reconocer y responder a cambios en las características del mercado” (Dedrick, Kraemer y Linden, 2008: 4).

- b) Régimen de apropiación. Se define a “los factores externos, excluyendo a la empresa y estructura de mercado, que la habilidad de un innovador domina para capturar ganancias generadas por una innovación”. Las dimensiones más importantes de tal régimen son la naturaleza de la tecnología en términos de apertura técnica, facilidad de autorización de uso y la eficacia del mecanismo legal de protección a un innovador (patentes, licencias de uso, etc.). Una simplificación a grosso modo entre ambientes, se define como el régimen de apropiación estricto (la

tecnología es fácil de proteger) o débil (la tecnología es casi imposible de proteger)<sup>85</sup>“(Dedrick, Kraemer y Linden, 2008: 4-5; Teece, 1986:287).

- c) Complementariedad. Una innovación consiste en cierto conocimiento técnico en torno a cómo hacer las cosas (*know-how*), no obstante, el éxito comercial de la innovación requiere además de la conjunción de otros activos complementarios, tales como servicios de mercadotecnia, manufactura competitiva y soporte posventa. Teece identifica tres tipos de activos complementarios: activos genéricos, los cuales no necesitan adaptarse exactamente a la medida de la innovación en cuestión; activos especializados donde hay dependencia unilateral entre la innovación y el activo complementario; y activo co-especializado donde existe una dependencia bilateral. Cada vez más el predominio de un producto en el gusto de los consumidores depende del incremento en su funcionalidad. Bajo este esquema, la empresa innovadora debe decidir producir internamente los activos complementarios de su producto (por ejemplo, una computadora requiere de un software para funcionar) o delegarlo a otros proveedores. Las propias empresas líderes pactan alianzas con diversas empresas, incluyendo en ocasiones a competidores, con el fin de empaparse de nuevas ideas, cuidando al mismo tiempo posicionarse favorablemente dentro de la red para captar el máximo de ganancias (Dedrick, Kraemer y Linden, 2008: 5).

Estos factores determinantes de la ganancia interactúan entre sí en diversos grados presentándose posibles escenarios, por ejemplo, una empresa dotada de bajo poder de apropiación (cuando la imitación es fácil), estaría sometida a la degradación de sus ventajas, sí no contara con activos complementarios en casa o bajo su control<sup>86</sup>. Adjunto al enfoque de David J. Teece sobre los determinantes de la ganancia, el precepto de “integración de sistemas” es necesario en la estrategia de las empresas innovadoras para la

---

<sup>85</sup> Teece señala que muchas veces las patentes ofrecen poca protección porque los requerimientos legales para conservar su validez o probar su infringimiento son demasiado altos. Una alternativa a las patentes podría ser el secreto comercial en algunas industrias donde las innovaciones están embebidas en los procesos. Considera que la especialización en actividades de I&D sin cumplir con el requisito de la manufactura en un régimen de apropiación débil, se convierte en un factor de desventaja a la hora de la participación de las ganancias, pues sí el imitador fabrica con costos más bajos puede terminar llevándose la parte del león de las ganancias.

<sup>86</sup> Teece presenta muchos ejemplos, entre ellos el de la empresa Dow que en 1960 decidió fabricar espuma de poliuretano rígido, pero fue imitado rápidamente por pequeñas empresas, las cuales tenían más bajos costos, vulnerando su capacidad.

elección de adecuadas tecnologías incorporadas en los productos, y así compatibilizarlas en un engranaje funcional que derive en un producto útil y accesible al consumidor (Dedrick, Kraemer y Linden, 2008).

## **1.8 Rentas económicas**

Teniendo como punto de referencia el contexto de las redes globales de producción, Alejandro Dabat, Miguel Ángel Rivera y Sebastián Sztulwark dan cuenta de la forma *sui generis* en la que los países asiáticos captan lo que denominan como “rentas internacionales de aprendizaje”, cuyo origen puede comprenderse a partir de algunas etapas del ciclo de vida del producto<sup>87</sup>, la teoría de las revoluciones tecnológicas (Freeman-Perez) y las interpretaciones institucionalistas sobre el milagro asiático que enfatizan el aprendizaje tecnológico (Amsden, Hikino, Wade y Hobday). De la teoría del ciclo de vida del producto retoman la idea sobre la etapa de maduración del producto, cuando las empresas líderes se expanden más allá de las fronteras nacionales, estandarizando los productos y procesos que hacen posible la participación de países tardíos. Mientras que la aportación de la teoría de las revoluciones tecnológicas se concentran más hacia los efectos del cambio o revolución tecnológica, es decir, el desplazamiento masivo de productos maduros por productos nuevos y la aceleración del ciclo de vida de los productos, derivándose como consecuencia que las empresas líderes se dirijan a sectores de mayor rentabilidad y se incorporen los países tardíos. Y por último, de la teoría de las instituciones sobre el milagro asiático, se

---

<sup>87</sup> La teoría del ciclo del producto de Vernon tiene su origen en las innovaciones tecnológicas como ventaja comparativa de un país. La hipótesis de Vernon intenta dar cuenta de los cambios en el comercio internacional y las actividades de inversión directa de las empresas en términos del ciclo del producto. Las razones del cambio son: el alcance geográfico de muchas empresas involucradas con la introducción de productos que cuentan con subsidiarias en el extranjero y los cambios en los mercados nacionales de los países avanzados, al reducirse algunas diferencias que previamente habían existido. Correlaciona la evolución de un producto a una diferente localización según cada etapa, que en total consta de tres: 1) La etapa de nacimiento de un producto se lleva a cabo en países de alta renta per cápita, que demandará nuevos productos con altos costos laborales estimulando nuevos procesos. En esta etapa, el producto no está estandarizado, requiriéndose de una comunicación rápida y fácil en la locación, así como la accesibilidad a insumos necesarios para la producción; 2) En la etapa de madurez tras la difusión tecnológica e incremento de la demanda del producto, se extenderá su exportación a países de desarrollo intermedio con costos laborales más bajos. Puede darse el caso de propagarse a otros países a través de la inversión extranjera del país donde se origino el producto, decisión que depende de los costos marginales de producción, costos de transporte y los costos promedio de la instalación de la producción en el extranjero; 3) En la etapa de la estandarización, los productos y procesos están estandarizados por lo que se busca producir a menor costo con trabajo no calificado y a gran escala. El producto puede ser fabricado en países no avanzados y ser exportados a países avanzados (Vernon, 1966 y 1979).

extrae la experiencia sobre la consolidación de empresas nacionales por los Estados desarrollistas de Corea del Sur y Taiwán. El planteamiento general es que las etapas de madurez y estandarización del producto, permiten a los países tardíos vadear las barreras a la entrada de ciertas industrias intermedias (situadas por debajo de las industrias de alta tecnología pero por arriba de industrias que demandan mano poco calificada y de bajos salarios) y de forma paulatina se inicia un aprendizaje de imitación para ir avanzando hacia actividades cada vez de mayor conocimiento e ingeniería.

Dabat, Rivera y Sztulwark, han establecido una tipología de rentas que se define a partir de tres niveles. El primer nivel se establece según el espacio donde se produce la producción/apropiación, ya sea nacional, internacional o global. La generación de rentas en un espacio nacional dentro del contexto de producción global presenta tres posibles filtros: un mecanismo que no permite la equiparación de precios del exterior e interior, el control de factores territoriales o una intervención definitiva del Estado nacional ejecutando transferencias o limitando la competencia. Las rentas internacionales confrontan las diferentes capacidades y recursos productivos entre países. Mientras que las rentas globales se derivan en esencia de las rentas internacionales pero los agentes son globales, cuya aptitud organizativa y posesión de activos les permite la apropiación de rentas extraordinarias. La empresa líder global absorbe las ventajas dispersas geográficamente que contribuyen a la reducción del costo de producción: acceso a una reserva de trabajadores cualificados de bajo costo y/o productos primarios (petróleo, minerales, etc.). El segundo nivel se determina según la fuente de acuerdo a cada espacio: 1) en el espacio nacional se identifican dos fuentes principales, la primera fuente abarca la tecnológica y territorial (donde se agrupa las rentas del suelo y control de las redes de infraestructura nacional), y la segunda fuente contiene las transferencias estatales (control del mercado interno y otorgamiento de crédito); 2) en el espacio internacional, las fuentes tienen su origen en las diferencias de capacidad productiva, recursos territoriales y apoyo estatal; 3) en el espacio global, las fuentes se derivan de superioridad tecnológica, capacidad organizativa y control de la cadena, así como del factor territorial. Finalmente el tercer nivel aglutina los rasgos de los dos primeros niveles, dando lugar propiamente a la tipología de rentas económicas (presentada en el Cuadro 1).

## CUADRO 1. RENTAS ECONÓMICAS

RENTAS NACIONALES	RENTAS INTERNACIONALES	RENTAS GLOBALES
N1: Renta tecnológica clásica (Marx y Schumpeter)	I1: Rentas tecnológicas internacionales (rentas clásicas de líder tecnológico mundial al mercado internacional)	G1: Rentas tecnológicas relacionadas con el liderazgo industrial y apoyado en tecnologías de frontera (cadena dirigida por el productor)
N2: Rentas del suelo (Ricardo y Marx)	I2: Rentas territoriales (internacional del suelo y control de redes de infraestructura)	G2: Rentas de organización (coordinación de capacidades nacionales dispersas para producción y distribución) G2a: Control de redes G2b: Capacidad logística, conexión de mercados, economías de distribución G2c: Marcas globales (cadena dirigida por el comprador)
N3: Rentas monopólicas y oligopólicas clásicas (Bain y Labini)	I3: Renta por transferencia/apoyo estatal	G3: Rentas de control territorial basadas en control de recursos naturales e infraestructura básica dentro de la estructura de la cadena global o para insertarse en ella (tercer tipo de cadena)
N4: Rentas de monopolios naturales de infraestructuras básicas (Marshall)	I4: Rentas de aprendizaje en industrias maduras propias de países de bajos costos laborales y productividades relativamente altas (bajos costos laborales unitarios)	
N5: Rentas por apoyo estatal		

Fuente: Dabat, Rivera y Sztulwark. 2007. Rentas económicas y aprendizaje en el marco de la globalización. Implicancias para el desarrollo de América Latina.

De este espectro de rentas económicas Dabat, Rivera y Sztulwark, dan cuenta de la interacción mutua y la posibilidad de transitar del espacio nacional al internacional, y sucesivamente al global. Esto es posible en la medida en que se combinan aquellas condiciones idóneas para posicionar a la empresa, apoyándose en las capacidades y recursos nacionales alineados a una estrategia nacional de desarrollo. De tal forma que por ejemplo, la economía de escala de un país en un sector dentro de un mercado internacional que goza de la protección estatal, con costos laborales competitivos (resultado de la educación y capacitación, así como del esfuerzo en el avance de la ciencia) y respaldo estatal para ingresar a mercados externos (a través del *dumping*), podría transitar del espacio nacional al internacional. Se destaca entonces que para los llamados “*latecomers*”, es esencial el control territorial que le otorgue viabilidad de un espacio a otro (por ejemplo, el dominio de recursos naturales en una cadena de productos primarios que aseguren una mejor posición de negociación o el control de redes de infraestructura nacional, por oligopolios que florecen a partir de transferencias estatales como los contratos comerciales preferenciales).

Dabat, Rivera y Sztulwark al discurrir alrededor de la clasificación estándar de las cadenas productivas globales (cadenas dirigidas por el comprador y por el productor) señalan que se ha pasado por alto el fuerte potencial del factor territorial como fuente plausible de renta, ya que en la producción de un bien que requiere un recurso natural estratégico (petróleo, minerales u otro) o redes territoriales de infraestructura nacional, se fortalece la capacidad o poder de negociación del país poseedor del recurso frente a los líderes de la cadena. Los principales argumentos detrás de ésta hipótesis son: que la empresa líder de la cadena tiene una capacidad limitada para sustituir a las empresas nacionales (sean públicas o privadas) que controlan el recurso natural o la infraestructura nacional, y que las empresa nacionales con apoyo estatal cuentan con la capacidad (limitada sólo por el tipo y grado de barrera a la entrada de la cadena) de acceder a nichos de alta tecnología de la cadena. Explican que los países con una amplia dotación de recursos naturales reducirían la brecha de rentas de aprendizaje, “sí a partir del recurso estratégico se constituyeran eslabonamientos hacia actividades de mayor valor agregado que incorporen insumos de conocimiento” (Dabat, Rivera y Sztulwark, 2010:166). Han detectado como principal impedimento al aprendizaje e innovación en países de América Latina, a la falta de capacidad social u organizacional<sup>88</sup> que penetre en la estructura nacional para estimular el desarrollo económico. Los canales de participación o movilidad social se ven desde esta perspectiva, restringidos por la desigualdad social que a su vez se convierte en marginación y exclusión del progreso económico.

### **1.9 La triple hélice. Relaciones universidad-industria-estado**

“La triple hélice es un modelo en espiral de la innovación que captura múltiples y recíprocas relaciones en los diferentes puntos durante el proceso de capitalización del conocimiento” (Etzkowitz, 2008).

---

<sup>88</sup> De acuerdo a Stiglitz, la capacidad organizacional es “el conjunto de recursos socioeconómicos, institucionales y políticos susceptibles de ser empleados coordinadamente por los agentes nacionales para cambiar el funcionamiento de la sociedad, ascender en las capacidades de aprendizaje y por ende resolver las fallas de coordinación que afectan el progreso económico, permitiendo al mismo tiempo la necesaria participación del grueso de la sociedad en el trabajo colectivo y sus frutos” (Dabat, Rivera y Sztulwark, 2010:166).

Es un sistema de tres componentes que son inestables ya que establecen intercambios dinámicos y se van desarrollando en espiral (universidad-industria-estado), creando conjuntamente riqueza en un proyecto en común.

En la primera dimensión de este modelo se realizan transformaciones internas en cada una de las hélices, tales como el desarrollo de vínculos laterales entre empresas a través de alianzas estratégicas o la supuesta misión de desarrollo económico con la aportación de las universidades.

En la segunda dimensión se intenta aprehender la influencia de una hélice sobre otra, como por ejemplo, el rol del gobierno federal al instituir políticas industriales. Es decir, el ajuste de las reglas del juego para la disposición de propiedad intelectual creada por la investigación patrocinada por el gobierno; o en la influencia de actividades tecnológicas en la investigación de la universidad, dando origen a profesiones académicas.

La tercera dimensión se sitúa en el traslape de redes y organizaciones trilaterales que dan lugar a la interacción entre las tres hélices con el propósito de introducir nuevas ideas y formatos para el desarrollo de alta tecnología.

Las tres hélices denotan las relaciones entre universidad-industria-estado con una igualdad relativa, interdependientes y conformando esferas institucionales, las cuales se traslapan y desempeñan en ocasiones el rol del otro. Las relaciones universidad-industria-estado están emergiendo de diferentes puntos de partida institucional en varias partes del mundo, con el propósito común de estimular el desarrollo económico en base al conocimiento, atrayendo recursos de las tres esferas. Las funciones tradicionales de estas tres instituciones se traslapan, transformándose por ejemplo, una universidad en una empresa fundada a través de facilidades de incubación; una industria en un educador a través de universidades empresariales y un estado en un capitalista de riesgo a través de programas de apoyo. El Estado básicamente ha impulsado la colaboración entre empresas, firmas y laboratorios nacionales para orientar temas de competitividad nacional.

Este modelo da lugar a diferentes relaciones entre las diferentes esferas institucionales, presentándose casos en que estén separadas y no colaboren o en las cuales una domine sobre las otras esferas. El estado ideal sería un modelo donde las esferas institucionales se traslapen y colaboren mutuamente (Etzkowitz, 2008).

### **1.10 Competitividad sistémica**

Anexo al enfoque de las Cadenas Globales de Producción que permiten “analizar la organización de la economía global y sus implicaciones en el desarrollo local” (Dussel Peters, 2008/b), es necesario un espectro más amplio de elementos comprendidos en el concepto de “competitividad sistémica”, que se utiliza para comprender como lograr la “eficiencia colectiva y conformación de redes interempresa en territorios específicos”.

El concepto de “competitividad sistémica” desarrollado por Esser, Hillebrand, Messner y Meyer Stamer, es una reflexión crítica en respuesta al enfoque teórico sobre la competitividad de Porter<sup>89</sup> y la competitividad estructural de la OCDE<sup>90</sup> (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). Este enfoque se despliega o sustenta en cuatro niveles diferentes de análisis: “micro, macro, meso y meta”, que afectan a las empresas en el plano local, regional, nacional y supranacional (este último, entendiéndose como aquello que está por encima del ámbito de los gobiernos e instituciones nacionales y que actúa con independencia de ellos”).

---

<sup>89</sup> El concepto de competitividad de Porter se aborda desde una perspectiva microeconómica, el cual estudia cómo una empresa o una región puede construir una ventaja competitiva y desarrollar una estrategia. Porter representa la idea mediante un diamante dinámico que integra “condiciones de oferta (alude a los factores naturales o humanos creados que no son necesariamente abundantes, como fuente de la ventaja competitiva sustentable), demanda (enfátiza la demanda interna como incentivo de economías de escala e innovación tecnológica), estructura de la propia empresa y su entorno (complementariedad y nexos entre las industrias), así como las relaciones con sus proveedores y clientes (la manera como se crean, organizan y administran las empresas, así como la naturaleza de la rivalidad entre ellas en el país)” (Dussel Peters, 2003/b: 20).

<sup>90</sup> La OCDE desarrolló el concepto de competitividad estructural, cuyos elementos medulares son: (1) el énfasis en la innovación como factor central del desarrollo económico, (2) una organización empresarial situada más allá de las concepciones tayloristas y capaz de activar el aprendizaje e innovación potenciales en todas las áreas operativas de una empresa, y (3) redes de colaboración orientadas a la innovación y apoyadas por diversas instituciones en un contexto institucional con capacidad para fomentar la innovación (Esser, Hillebrand, Messner y Meyer-Stammer; 1996).

En el nivel microeconómico se busca simultáneamente la eficacia, calidad, flexibilidad y rapidez de reacción, enfatizando la cooperación mutua entre las empresas. El panorama de gran complejidad que enfrentan las empresas implica introducir cambios en tres planos diferentes:

- Organización de la producción, cuyo objetivo es la disminución de los tiempos de producción, cronometrando la entrega inmediata del producto a las necesidades del cliente y reduciendo prácticamente a cero las existencias en el depósito.
- Organización del desarrollo del producto, en el que se integra paralelamente las diferentes fases de desarrollo y su coordinación al mismo tiempo, con la producción y la comercialización, con el objeto de reducir costos y lograr la eficiencia y calidad.
- Organización y relaciones de suministro, en el que se propone la articulación de un sistema basado en el *just in time*, conformando una pirámide de subcontratación donde se enfatiza la especialidad de los proveedores en una red de colaboración.

A nivel macroeconómico se privilegia la reducción del presupuesto fiscal<sup>91</sup> (en rubros innecesarios como gasto militar, ocupación excedente en el sector público, y otros), políticas monetarias restrictivas<sup>92</sup> y políticas arancelarias, cuidando que las principales variables económicas (inflación, tasa de cambio, déficit presupuestario, balanza de pagos o deuda externa) no se salgan de control, pero con la consigna de evitar que estas políticas fracturen las bases de crecimiento económico y profundicen los desequilibrios sociales existentes; aconsejando también un esquema de reglas económicas bien definidas que transmitan el mensaje de estabilidad a los actores principales.

---

<sup>91</sup> Los autores (Esser, Hillebrand, Messner y Meyer Stamer) recomienda no acudir al recurso de una política simplificadora, que es el de recortar la asignación del Estado en rubros sociales fundamentales de educación, salud, infraestructura, etc. El objetivo es lograr el equilibrio de las políticas monetaria y fiscal, concentrándose en el crecimiento económico y la distribución.

<sup>92</sup> Se hace hincapié en que la estabilización del contexto macroeconómico origina un campo constante de tensión entre las diferentes políticas presupuestal, monetaria y tributaria teniendo como fin no limitar el consumo y la inversión que repercuten en el crecimiento y distribución económica. Este proceso va acompañado de reformas estructurales en el Estado, en los espacios financiero y de comercio exterior, cuyo efecto en la estructura social no es uniforme (presentan un escenario de ganadores y perdedores) ocasionando costos sociales que deberían ser flanqueadas por políticas compensatorias (Esser, Hillebrand, Messner y Meyer Stamer, 1996).

En el nivel meta “se examina los factores que inciden en la capacidad de la sociedad para la integración y la estrategia consensuada del rumbo o modelo de desarrollo económico a seguir” (Esser, Hillebrand, Messner y Meyer Stamer, 1996).

Y finalmente el nivel mesoeconómico es la “dimensión donde se generan las ventajas competitivas institucionales y organizativas, los patrones específicos de organización y gestión y los perfiles nacionales que sustentan las ventajas competitivas y que son difícilmente imitables por los competidores”. En este nivel los diferentes actores sociales y el Estado diseñan políticas orientadas a la formación de estructuras coadyuvantes al desarrollo de las empresas y a la articulación de procesos de aprendizaje a nivel de la sociedad. Además en este nivel se conjugan mecanismos, políticas e instituciones que atañen a la competitividad de sectores individuales y en su conjunto, a nivel público y privado, así como organizaciones no gubernamentales, y en las relaciones inter o intraempresa (Dussel Peters, 2003/b: 26 y 27). “La competitividad exige una elevada capacidad de organización, interacción y gestión por parte de los grupos de actores, que deben procurar una gestión sistemática que abarque a la sociedad en su conjunto”. Por ello también, “el empotramiento económico, institucional y cultural es de la mayor relevancia para entender la configuración intra e interregional, así como las condiciones y el potencial de competitividad sistémica” (Dussel Peters, 1999:56-68).

### **1.11 Conclusiones preliminares**

En este primer capítulo se ha procurado delinear las herramientas teóricas que ayudarán a comprender en un esquema general, que la evolución de la industria electrónica está sujeta a la dinámica actual de las redes globales de producción e innovación. En primer término, se introduce el concepto de innovación tardía acuñado por Dieter Ernst, enfatizando la experiencia asiática de las innovaciones incrementales y arquitectónicas, punto de referencia para vislumbrar una plausible especialización por parte de países en desarrollo en actividades que generen nuevo conocimiento y prácticas de innovación, aplicadas en productos y procesos para su mejoramiento, y que no requieren una inversión intensiva en ciencia y tecnología, en comparación a las innovaciones radicales y modulares emprendidas habitualmente por empresas líderes. Se hace uso de la clasificación de los diferentes tipos

de innovación conceptualizada por Henderson y Clark, para considerar cuidadosamente aquellas aparentemente menores o sencillas innovaciones que puedan tener grandes repercusiones en el ámbito de la competencia. El modelo de Henderson y Clark, básicamente establece que el conocimiento tecnológico requerido para el desarrollo de nuevos productos depende principalmente del conocimiento de los componentes y la variada interacción entre los mismos, denominándose como conocimiento arquitectónico. A partir de este esquema se derivan cuatro tipos de innovación, de las cuales nos interesa en particular: 1) la innovación incremental que consiste en el refinamiento y extensión de un diseño establecido, efectuándose su mejoramiento en los componentes individuales, pero los cimientos de diseño y su integración permanecen esencialmente igual (un ejemplo sería el mejoramiento de la capacidad magnética o de la velocidad de rotación de un *hard disk*); y 2) la innovación arquitectónica que cambia la forma en la cual los componentes de un producto son integrados conjuntamente dejando prácticamente cuasi intactos los componentes (no significa en sí literalmente que los componentes no sufran de alguna modificación, tal vez el tamaño o algún parámetro secundario desencadene el cambio creando una nueva integración o interacción entre componentes), conservando en esencia el conocimiento científico y de ingeniería asociados en el mismo producto (Henderson y Clark: 1990). De manera que la importancia de las innovaciones incremental y arquitectónica constituyen junto con el concepto de tecnologías disruptivas de Christensen<sup>93</sup>, los argumentos a favor de un posible impacto de largo alcance de este tipo de innovaciones dirigidas a pequeños y emergentes mercados (aún insignificantes o inexistentes) con un rango de ganancias menores. Además Dieter Ernst anexa el concepto de “integración de sistemas complejos”, para explicar las capacidades que a largo plazo las empresas necesitarán para el manejo exitoso de un sistema tecnológico complejo (conocimiento profundo de la arquitectura del producto, trayectoria de mejoramiento para

---

<sup>93</sup> En base a un seguimiento histórico de la evolución tecnológica del disco duro para indagar acerca de por qué en cinco o seis generaciones de productos, cada vez emergía una nueva compañía para ser sustituida por otra, Christensen distingue dos tipos de cambios tecnológicos. Un primer tipo de tecnología que “sostiene” la tasa de mejoramiento en la ejecución del producto, oscilando difícilmente de (innovación) incremental a radical y otro tipo de tecnología disruptiva o trayectorias de ejecución redefinida, que consiste en innovaciones tecnológicamente sencillas, utilizando componentes disponibles para la venta en una arquitectura del producto muchas veces más sencilla que el enfoque anterior. Las innovaciones disruptivas en un principio son cualitativamente peores en ejecución como el caso de los radios de transistores impulsadas por Sony, que sacrifico la fidelidad del sonido por la portabilidad, tamaño y ligereza pero con el tiempo creando un nuevo mercado (Christensen, 1997).

su ejecución óptima, etc.). Dieter Ernst construye con estos tres elementos el concepto de “innovación tardía”, que consiste básicamente en la estrategia de utilizar en la industria electrónica tecnologías sencillas y existentes utilizadas por los participantes de reciente entrada (China, India, Brasil o México), compensando la desventaja de la debilidad de su base de conocimiento doméstica con el conocimiento internacional<sup>94</sup>, cuya interacción mundial cataliza el desarrollo y difusión de capacidades de innovación.

Igualmente se introduce en el marco teórico, el concepto de innovación de Lester y Piore, comprendiendo a la innovación como la confluencia de dos procesos: analítico e interpretativo, el último de los cuales, asume una dinámica similar a una comunidad lingüística donde fluyen las ideas de forma menos restrictiva (en comparación al espacio marcado por la lógica del mercado) favoreciendo la expresión creativa. Este proceso tiene un despliegue particular desde el espacio público de la universidad, ya que la comunidad universitaria “tiene la habilidad intuitiva de enfocarse en temas relevantes, denotando frecuentemente una preocupación por el bienestar público”. Desde esta perspectiva, los estudios de caso propuestos se comprenden como espacios privilegiados que permiten una comunicación donde prima un ambiente de relativa confianza para el intercambio de ideas con un enfoque valorativo más dirigido a lo social, sustrato imprescindible para la innovación. Además interesa destacar aparte del aporte interpretativo en el espacio público de las universidades, su contribución a las capacidades locales de innovación. Es decir, en forma no tan directa, la universidad es un eslabón público para continuar la conversación-discusión acerca de la innovación y su dirección futura en las tecnologías, mercados y desarrollo de industrias locales (en conferencias, foros, programas de vinculación con la industria y otros espacios).

De forma complementaria se incorpora el concepto de innovación frugal, término que describe con mayor precisión el tipo de innovación que se ha ido adoptando en la región asiática (principalmente en la India y China). La innovación frugal es un término que abarca la necesidad radical de simplificar las cosas y cuyas características se resumen en: 1)

---

<sup>94</sup> En la interacción con empresas trasnacionales se aprende mejores prácticas en gestión para I&D, desarrollo del producto, ejecución y medidas de control de calidad, involucramiento en el desarrollo de prototipos, certificación a través de cuerpos de estandarización y, participación con personal técnico y de mercadotecnia extranjero (Ernst, 2004/a).

utilizar en imaginativas formas, materiales y tecnologías existentes, adaptando capacidades, técnicas y enfoques creativamente; 2) se aplican técnicas de producción en masa en nuevas e inesperadas áreas; 3) se reduce el producto a su principal función; 4) se utiliza lo local: utilizando los residuos, reduciendo los costos de transporte, generando empleo local y reciclando; 5) y se enfoca a satisfacer los mercados de bajos ingresos. Este concepto de innovación se considera más adecuado a los conceptos de innovación incremental y arquitectónica utilizados por Dieter Ernst para caracterizar la innovación tardía, ya que abarcan aspectos muy limitados del proceso de innovación, en el sentido de que se concentran en un nivel muy restrictivo de la configuración física de los productos. La innovación incremental y arquitectónica se formula a partir de pequeñas variaciones en los componentes y en la composición arquitectónica. En principio estos parámetros dan la impresión de que los productos guardan estrictas e inalterables características estandarizadas y se presta a una confusa percepción de lo que involucra la complejidad del proceso de innovación. Desde la perspectiva de la innovación frugal, frecuentemente los componentes y la arquitectura de un producto se alteran o modifican radicalmente.

Se comprenderá mejor lo anterior, a partir de la contextualización de los principios que rigen a la innovación frugal, la cual de manera sucinta plantea que la creatividad tiene siempre en mente la restricción de recursos (materiales y capital) optando por desechar lo irrelevante<sup>95</sup> pero incorporando a su vez nuevas tecnologías que satisfagan las necesidades en demanda por consumidores de bajos ingresos<sup>96</sup>. Un buen ejemplo de este concepto, es el refrigerador diseñado y fabricado por la empresa hindú Godrej que conservó 20 de las 200 partes utilizadas en un refrigerador convencional, sustituyéndose el compresor (un componente tradicional) por un *chip* de refrigeración y un ventilador similar al utilizado en las computadoras de escritorio que evita el sobrecalentamiento<sup>97</sup>. Algunas de las

---

<sup>95</sup> La racionalización de las características o abandono del ADN basura que tiende a acumularse en los productos con el tiempo, es otra característica a considerar, por lo que siempre está en mente la simplicidad para desechar todo aquello que es superfluo al producto.

<sup>96</sup> El salto tecnológico es imperativo en países con infraestructura limitada obligando a las empresas a adoptar tecnologías que compensan la carencia del entorno, un ejemplo, es la telefonía móvil que es relativamente barata, compartible y fácil de reparar.

<sup>97</sup> Esta empresa optó por la estrategia de observar de primera mano el ámbito de sus consumidores para determinar las características deseables en el producto. Para mantener un precio bajo, el refrigerador de pequeñas dimensiones (41 centímetros de alto por 66 centímetros de ancho) con capacidad para 6 litros, conservó 20 de las 200 partes utilizadas en un refrigerador convencional. Consume menos de la mitad de

características que se buscan intencionalmente en los productos a partir del enfoque de innovación frugal coinciden con los atributos que las micro y nano tecnologías están desarrollando, tales como la portabilidad, ligereza y miniaturización. En el caso de la tecnología MEMS su flexibilidad ha contribuido a mejorar muchos productos existentes, avanzando a nuevos niveles de ejecución y eficacia con la promesa de abarcar en el futuro mercados con aplicaciones extremadamente especializadas. Por ejemplo, la tecnología MEMS permitió que los sensores de impacto (utilizados en las bolsas de aire) fueran fabricados en uno o dos *chips* simples a comparación de los primeros sistemas que necesitaron varios componentes eléctricos y mecánicos situados a lo largo del motor para medir los mismos datos, reduciendo de este modo el número de componentes, incrementando la precisión y reduciendo el costo del sistema<sup>98</sup>. Se espera que el tamaño e integración de los MEMS permita toda una nueva clase de productos que no habrían sido posibles con enfoques convencionales.

Posteriormente se aborda un esquema sintetizado de las principales características en evolución de la red global de innovación que de forma similar a las redes globales de producción han desarrollado una estructura modular<sup>99</sup> y en la difusión del conocimiento, han entretelado redes de colaboración mutua entre los diversos participantes (empresas líderes, OEMs/ODMs y proveedores especializados). Este apartado sobre las redes globales de innovación (RGI), da cuenta de un fenómeno que obedece a la estrategia de empresas líderes para integrar el talento científico y de ingeniería de países de bajo costo en la creación de valor, con el propósito de introducir innovaciones lo más rápidamente posible. No es tarea fácil, ya que la creación de conocimiento depende de la naturaleza del conocimiento requerido y de la naturaleza de la actividad. Entre más codificado este el conocimiento y más estandarizadas las interfases para integrar el conocimiento, se requiere

---

electricidad de un refrigerador tradicional y cuenta con un sistema de aislamiento que lo mantiene frío durante horas sin electricidad. El compresor que es el componente encargado de hacer recircular el líquido refrigerante por el sistema fué sustituido por la tecnología del *chip* de refrigeración. Esta tecnología utiliza la migración de electrones para reducir el calor, es decir, a partir de materiales y geometrías especiales mueve los electrones más calientes en un lado manteniendo los más fríos en otro (Munuswamy, 2009).

<sup>98</sup> En el portal *MEMS Industry Group* se menciona que los MEMS están revolucionando los datos de almacenamiento masivo en el mercado de las computadoras, reduciendo los componentes para discos duros, servidores y periféricos; por ejemplo, en la electrónica de consumo los MEMS acústicos están ofreciendo menos distorsión y mayor calidad en el sonido.

<sup>99</sup> Diseño modular es una metodología particular de diseño en la cual los parámetros y tareas son interdependientes dentro de unidades (módulos) e independientes a través de ellos.

menos interacción humana. Sin embargo, la solución de problemas o la necesidad de ajustes requieren la proximidad en los puntos de trabajo, así como un grado de confianza que debe superar las diferentes idiosincrasias de múltiples localidades en proyectos comunes. Dieter Ernst establece una tipología de RGI, siendo de interés el consorcio internacional de I&D entre empresas transnacionales y sector público local. Esta clasificación es útil para comprender la potencial integración geográfica de localidades a redes de producción, ingeniería e I&D globales o el planteamiento de por qué fuentes externas de conocimiento son importantes para la estrategia de empresas líderes, y valorar donde se encuentran las ventanas de oportunidad para países en desarrollo en el intercambio de conocimiento y complementación de capacidades.

En relación a la forma en que se interrelacionan los diferentes participantes de la cadena o en última instancia de la coordinación de la cadena global de valor, se recurre al concepto de gobernabilidad de Gereffi, Sturgeon y Humphrey para dejar claro que las diferentes formas de gobernabilidad cambian y se traslapan continuamente. Ellos distinguen de forma dominante en la industria electrónica dos modalidades de gobernabilidad: la modular y la relacional. Por un lado, el incremento del alcance del diseño<sup>100</sup> y la complejidad de los niveles de implementación de la información, están forzando el uso de construcciones lógicas (arquitectura<sup>101</sup>) para controlar las inter-fases y la integración de los componentes del sistema, es decir, se está intentando estandarizar para reforzar la modularidad. Pero por otro lado, los productos que requieren insumos no estandarizados y/o arquitectura de diseño del producto integrado, requieren una coordinación más estrecha involucrando transferencia de información de diseño<sup>102</sup> y por ende una interacción más dialógica entre empresas, es decir, se acerca más a la gobernabilidad relacional (Gereffi, 2003:2). Gereffi, Sturgeon y Humphrey consideran que los sistemas de tecnología compartidos están direccionándose simultáneamente hacia dos modalidades: 1) hacia sistemas de propiedad que incrementan la ventaja específica y confidencialidad, pero mejora la protección de la propiedad intelectual

---

<sup>100</sup> Gereffi, Sturgeon y Humphrey consideran que la transferencia de especificaciones del diseño se ha hecho más compleja y menos estandarizada, dificultando a los líderes las decisiones respecto al cambio en la elección de socios.

<sup>101</sup> Es la percepción representativa del producto según los requerimientos específicos del cliente.

<sup>102</sup> Gereffi, Sturgeon y Humphrey notan que en la colaboración cercana dentro del ámbito del diseño del producto, los contratistas reciben archivos de diseño por computadora para los nuevos productos de sus clientes, conteniendo muchas veces propiedad intelectual esencial.

clave, y; 2) hacia estándares abiertos que apoyan la modularidad de la cadena de valor pero con resquicios susceptibles de vulnerar la propiedad intelectual. En referencia a esta dualidad entre gobernabilidad relacional y modular en la tecnología MEMS, se corrobora en parte dado el proceso complejo que implica la concepción integral de un dispositivo MEMS. Su cadena de valor se segmenta en varias etapas: iniciando por la concepción y el diseño del MEMS conteniendo las especificaciones del cliente, para lo cual se procura en en cierto grado la adaptación a un amplio rango de diseños e ingeniería existentes utilizando tecnologías estándar, con el fin de lograr la solución más efectiva en cuanto costo. Eventualmente se fabrica el MEMS para luego someterlo a la caracterización, proceso que garantiza que cada sistema micro electromecánico ejecute sus funciones de manera correcta, simulando las condiciones ambientales bajo las cuales trabajaría en su posterior aplicación comercial o industrial<sup>103</sup>. La siguiente etapa es el encapsulamiento, una tarea que involucra un amplio conocimiento en la selección de materiales adecuados para cada MEMS y su aplicación. La cadena de valor de los MEMS tiende a un grado de modularidad<sup>104</sup> abarcado diversas regiones y empresas, por ejemplo, dependiendo del dispositivo a producir se requiere de diferentes técnicas o procesos de fabricación conjuntando múltiples esfuerzos de equipos de trabajo, de lo cual se deduce, la necesaria colaboración a base de confianza y continua comunicación.

En la secuencia del marco teórico se incluye además el esquema de David J. Teece sobre los factores determinantes de la ganancia en empresas innovadoras dentro de la cadena global de valor. Las empresas líderes de la innovación en la industria electrónica, cuentan con varias ventajas a través de diversas estrategias (diseño industrial, rápido desarrollo del producto, entre otros), lo que les permite determinar la forma en que las tecnologías son incorporadas en los productos y procesos. Estas empresas seleccionan de la constelación de tecnologías complementarias disponibles (desde la fase de concepción y diseño hasta el

---

<sup>103</sup> Por ejemplo, en los MEMS de micro espejos utilizados en astronomía se verifica que sus componentes no pierdan las características físicas o la función con las que fueron diseñados al momento de someterse a ciertas temperaturas o periodos continuos de operación (De la Peña, 2008).

<sup>104</sup> El Dr. Horacio Estrada coordinador científico del Centro Nacional de Metrología y coordinador del Programa Nacional para el Diseño y Fabricación de Prototipos MEMS, comentó la forma de trabajo de empresas norteamericanas de dispositivos MEMS, refiriendo que a lo largo del país se encontraban diferentes equipos de trabajo especializados en un proceso de fabricación, aportando su conocimiento en el proyecto de un MEMS en específico, para remitirlo posteriormente a la matriz de la empresa.

mercado de un producto innovador), las empresas singularmente especializadas y compatibiliza sus capacidades internas, protegiendo la tecnología clave (Dedrick y Kraemer, 2009). El esquema de David J. Teece básicamente explica la distribución de las ganancias de la innovación en función de tres conceptos: evolución industrial o paradigma de diseño dominante, régimen de apropiación y complementariedad: 1) La evolución industrial (o el paradigma del diseño dominante) da cuenta de la competencia entre las empresas de una industria, manifestándose a través de diferentes diseños en una primera etapa. Con el transcurrir del tiempo o en una segunda etapa, prevalecen uno o más diseños capaces de aglutinar gustos y necesidades de los usuarios estableciéndose como una moda determinada<sup>105</sup>. Después de este punto, la competencia se basa más en la explotación de economías de escala y aprendizaje en búsqueda de reducir los costos por unidad. No significa que la innovación frene su curso, sino que se encauza más bien a procesos que abaraten la producción del nuevo producto<sup>106</sup>; 2) Un régimen de apropiación es básicamente el mecanismo legal mediante el cual una empresa innovadora avala su autoría o derechos de propiedad intelectual<sup>107</sup> al crear un producto y/o proceso nuevo; y 3) La complementariedad o contratación de activos complementarios es una estrategia llevada a cabo por numerosas empresas innovadoras, pues la industria experimenta un rápido cambio tecnológico y es poco probable que una sola empresa posea el rango total de experiencia necesaria para traer productos avanzados al mercado de una manera oportuna y efectiva (Teece, 1986:295). El esquema sugiere que la generación de innovaciones es un proceso sistémico y acumulativo requiriendo de diferentes empresas especializadas con intereses propios, dando lugar a profundos conflictos que obstaculizan la difusión del conocimiento. La propiedad de activos complementarios particularmente cuando son especializados, determinan en gran medida quién gana o pierde en la innovación. Dieter Ernst coincide

---

<sup>105</sup> Teece menciona, que el modelo T Ford, el IBM 360 y el Douglas DC-3, gozaron de gran aceptabilidad en su tiempo, convirtiéndose en diseños dominantes de las industrias del automóvil, computadora y del avión respectivamente.

<sup>106</sup> En esta etapa, el innovador podría encontrarse en desventaja cuando su innovación pudiera ser fácilmente imitada por sus competidores, realizándose modificaciones al producto en diversas formas (Teece, 1986).

<sup>107</sup> De acuerdo con un estudio del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), dirigido por Henry Chesbrough, parte de la propiedad intelectual e industrial se encuentran pendientes de soluciones judiciales. No obstante la compleja percepción de su valor y elevado costo, se estima que las empresas utilizan entre el 5% y el 25% de las patentes que atesoran. Mientras que entre el 75% y 95% de patentes duermen el sueño de los justos. La imposición de esta realidad ha hecho necesaria la generación de licencias, licencias cruzadas o, incluso, la donación de patentes. El concepto tradicional de que una empresa debe desarrollar, proteger y aislar su propiedad intelectual e industrial empieza a formar parte del pasado (Zabala, 2009).

también en que el éxito competitivo de una empresa reside en la posibilidad de construir capacidades especializadas más rápidamente y de menor costo que la competencia (Ernts, 2008/b:12). Por consiguiente, debe cuidarse de los imitadores que puedan superar a los innovadores, sí ellos están mejor posicionados con respecto a activos críticos o ventajas complementarias. Se advierte que la política pública en la promoción de la innovación debe no sólo enfocarse en I&D, sino también en la creación de activos complementarios como parte fundamental de la infraestructura (Teece, 1986:304). Las empresas líderes son las que marcan la pauta en las tendencias tecnológicas dentro de la industria electrónica, predominando actualmente la orientación hacia la miniaturización de productos con funciones más densas y complejas<sup>108</sup>. Los estudios de caso sobre los MEMS desarrollados en este trabajo de investigación coinciden con la tendencia tecnológica de la actual industria electrónica.

El dilema que se presenta ante la participación de la distribución de ganancias de la innovación dentro de la cadena de valor global de MEMS por parte de países en desarrollo, es comprensible hasta cierto punto a partir de la tipología de rentas económicas que propone Alejandro Dabat, Miguel Ángel Rivera y Sebastián Sztulwark. La excepcionalidad de los países asiáticos para captar rentas (o ganancias), se ha convertido en un punto de partida válido para los países tardíos que buscan vadear las barreras a la entrada de ciertas industrias y lograr un aprendizaje que coadyuve a escalar actividades de mayor conocimiento. Con base a esta idea argumentativa acuñan el término “rentas internacionales de aprendizaje”, que abarca no sólo las “competencias productivas con ventajas de costos” sino también, las aptitudes o habilidades sociales para realizar “complejas estrategias de coordinación a nivel nacional” o lo que denominan como “capacidad organizacional”. Lo interesante de esta hipótesis es el énfasis en el factor territorial como posible fuente de rentas, refiriéndose a un recurso natural estratégico (petróleo, minerales, u otros) o redes territoriales de infraestructura nacional. En términos metafóricos podría explicarse como sí

---

<sup>108</sup> Se observa como parte de la estrategia de empresas líderes a mediano y largo plazo inversiones en la tecnología MEMS, tal es el caso de *Hewlett Packard* que anunció el primer acelerómetro comercial y desde 2005 inició la transición de cabezas de impresión disponibles a permanentes, o de *Texas Instruments* que está experimentando un nuevo resurgimiento con el *chip DLP (digital light processing)* y nuevas aplicaciones en pantallas de proyectores, o *Bosch Group GmbH* que está preparando el lanzamiento de un giroscopio de 3 ejes (Bouchaud, 2011/d).

el factor territorial fuera el “anzuelo” que motive la negociación con los líderes globales de la cadena y su control fuera el “as bajo la manga” por parte del Estado para asegurar una negociación más equilibrada<sup>109</sup>.

Para aludir a otros aspectos que la teoría de las Redes Globales de Innovación no contemplan o explican suficientemente, se ha incorporado también en este capítulo la teoría de la Triple Hélice acerca de la interacción entre los diferentes agentes sociales para desarrollar una base científica y tecnológica sólida. Esta teoría explica la necesidad de una interacción multidireccional entre empresas, universidades, institutos de investigación y Estado para la conformación de conocimiento útil que estimule el desarrollo económico. Se señala que por lo general en países en desarrollo, uno de los componentes o polos es débil, inexistente o remplazado parcialmente por agentes extranjeros. Si la red es funcional, se establecen y proyectan en tiempo y espacio, fuertes encadenamientos productivos endógenos, tanto civiles como militares, que confieren fortaleza al mercado nacional y eventualmente al internacional. En los estudios de caso de México y China es de gran interés explorar la operatividad de estos componentes o polos que permitan diagnosticar el futuro de estos proyectos, sus limitaciones y posibles éxitos o en el peor de los casos, sus posibles fracasos.

Y por último en este capítulo teórico, a partir de las limitaciones del enfoque de las cadenas globales de producción e innovación analizadas por Dussel Peters<sup>110</sup>, se decidió recurrir al

---

<sup>109</sup> En la contextualización del tema de la innovación en la cadena de valor de los MEMS dentro de este esquema de ganancias, se coincide que para tener la oportunidad de captarlas además de cultivar una gama de capacidades, es necesario un cierto control ejercido por el Estado. Una situación hipotética con base a las rentas internacionales de aprendizaje sería, si una empresa como TELMEX que monopoliza el mercado de telecomunicaciones, pudiera inducir un aumento en la demanda de fibra óptica que simultáneamente demandaría MEMS ópticos y sí, se condicionara su fabricación doméstica bajo un acuerdo estratégico con la visión a futuro de incorporarse a la cadena de valor global de MEMS.

<sup>110</sup> De acuerdo a Dussel Peters el enfoque de Cadenas Globales de Producción: 1) “no pone atención en los temas de espacio y perspectiva territorial para entender la dinámica del desarrollo socioeconómico”. Son en los espacios regionales y locales “donde se generan (o no), tanto redes productivas como encadenamientos productivos con otras regiones”, de tal forma que la perspectiva territorial es muy diferente a la perspectiva desde el nivel de empresa; 2) “La eficiencia colectiva no es resultado automático de la incorporación de un conjunto de empresas o *cluster* dentro de una cadena de valor”. Sino que esta depende de las instancias de gobernabilidad y de los respectivos estándares que en último término se convierten en “barreras a la entrada”, además de ser un mecanismo de la factibilidad de difusión y aprendizaje territorial; 3) En la revisión de la noción de “escalamiento y procesos de aprendizaje”, la perspectiva de la CGP atribuye gran importancia a los productos de ciertos sectores: electrónica, automotriz, y otros. Para Enrique Dussel Peters es de vital

concepto de competitividad sistémica vinculado a la idea de eficiencia colectiva. Este concepto ayuda a entender que aparte de las dimensiones macro y micro con su debida importancia, es fundamental el entorno meso y meta<sup>111</sup> para determinar en gran medida las ventajas competitivas basadas en el conocimiento, siendo la innovación y el aprendizaje un proceso que implica un fenómeno colectivo. Es decir, la innovación y el cambio tecnológico es un proceso social evolutivo, incierto y sistémico que involucra el ámbito del mercado, el espacio institucional y entorno cultural. La evolución tecnológica no sólo depende de la iniciativa y conocimiento de algunos ingenieros y empresarios con mentalidad moderna, sino que depende también de condiciones económicas, sociales e institucionales perfeccionadas en el tiempo, y de otros agentes que intervienen directa e indirectamente en los procesos de innovación.

---

importancia distinguir que “la complejidad tecnológica del producto final de la cadena no necesariamente coinciden con los procesos que son requeridos para su producción” (Dussel Peters, 1999/b; 2008/b).

<sup>111</sup> El nivel meta es la dimensión donde se juega la capacidad de la sociedad para integrars y desplegar una visión estratégica. El nivel meso es el espacio de los entornos capaces de fomentar, complementar y multiplicar los esfuerzos al nivel de empresa (Montero y Morris, sin fecha).

## **CAPÍTULO 2. CONFIGURACIÓN DE LA CADENA DE VALOR DE LOS SISTEMAS MICRO ELECTROMECÁNICOS (MEMS)**

### **2.1 Introducci3n**

La innovaci3n en la industria electr3nica ha sido proclive a la miniaturizaci3n de los componentes electr3nicos<sup>112</sup>, coincidiendo al respecto la tecnología MEMS y consolidándose en una alternativa adecuada a la necesidad de dispositivos de mayor funcionalidad en áreas considerablemente m3s pequeñas. Su irrupci3n ha impulsado la innovaci3n en la industria electr3nica, e incursionado en un amplio rango de aplicaciones que abarcan transversalmente casi todos los sectores industriales y previéndose un prometedor potencial en la creaci3n de soluciones puntuales, con un profundo impacto en las innumerables actividades de la sociedad actual. La tecnología MEMS es parte de la industria de los semiconductores (*microchips* que controlan toda la electr3nica moderna), que hacen posible los sistemas y productos que usualmente utilizamos para trabajar, comunicarnos, viajar, entretener, aprovechar la energía, tratar enfermedades y hacer nuevos descubrimientos científcos.

En este segundo capítulo se esboza la cadena global de valor de los MEMS<sup>113</sup> con base a informaci3n disponible de dos consultorías de an3lisis tecnol3gico y de mercados: IHS iSuppli de origen americano y Yole D3veloppement de origen franc3s. En primer lugar, se presenta una introducci3n sobre la configuraci3n de las redes globales de producci3n e innovaci3n en la industria electr3nica, destacando en particular la transici3n hacia la fase de deslocalizaci3n o subcontrataci3n de investigaci3n e innovaci3n por parte de empresas líderes y la consiguiente estrategia, que ha trazado la regi3n asiática para asimilar y desarrollar capacidades de innovaci3n, así como la relaci3n actual de Méxicco con estas redes globales de innovaci3n (RGI).

---

<sup>112</sup> Sin la microelectr3nica, hubiese sido imposible concebir circuitos integrados con millones de transistores en una fracci3n de centímetro cuadrado o en la actualidad, el equivalente de un microprocesador de una computadora ocuparía el volumen de un edificio de 12 o 14 pisos (Palazzesi, 2008).

<sup>113</sup> Se enfatiza la intenci3n de reconstruir la cadena de valor de los MEMS para estimar el valor agregado generado por regi3n y situar las empresas que dirigen esta cadena. Este concepto se utiliza en términos funcionales que nos permita

Posteriormente se explica qué son los MEMS junto con el compendio histórico de su nacimiento y desarrollo. Pasando a exponer después un panorama de la industria de los semiconductores y el peso o grado de importancia que los MEMS están adquiriendo en este sector, para lo cual se describe su aportación en términos de ingresos<sup>114</sup> y el abanico de oportunidades que augura su explosivo crecimiento a raíz de varios proyectos, como el que contempla una red de detección planetaria construida con miles de millones de sensores y actuadores para diversos mercados. Hasta la fecha existe una gran variedad de dispositivos MEMS, incursionando cada año innovaciones en un mercado cuyo comportamiento es extremadamente dinámico. Con el fin de reflejar la diversidad de productos y mercados de MEMS, se realiza una descripción en términos del tipo de producto, tasas de crecimiento y perspectivas de nuevos dispositivos, agrupándolos en siete sectores industriales: electrónica de consumo/teléfonos, automotriz, aeroespacial/defensa, médico, telecomunicaciones, industrial y procesamiento de datos.

A continuación se reconstruye el mapa a nivel global, ubicando los principales segmentos que constituyen la cadena de valor de los MEMS: I&D, diseño, desarrollo del producto, fabricación, caracterización, pruebas y empaquetamiento. Aclaro que la información es muy limitada y no se cuenta con suficientes datos sobre la comercialización y ventas, 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. Se expone el esquema de siete modelos de negocios identificados por Jean Christopher Eloy y Eric Mounier<sup>115</sup> que a grandes rasgos comprenden 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*<sup>116</sup>. Asimismo se

---

<sup>114</sup> *Revenue*, la palabra en inglés significa, los ingresos generados por la venta de bienes o servicios asociados a las operaciones principales de una organización, antes de que cualquier costo o gasto sea deducido (BusinessDictionary.com).

<sup>115</sup> Jean Christopher Eloy y Eric Mounier son analistas de la agencia francesa *Yole Développement*, la cual provee servicios de investigación de mercado, análisis tecnológico y asesoría estratégica. Los modelos de negocios identificados se han elaborado en base a un análisis completo de 30 fábricas importantes de MEMS en todo el mundo.

<sup>116</sup> Negocio de micro fabricación que provee servicios para la producción de prototipo o producción de volumen de circuitos integrados y/o MEMS. Típicamente ofrece procesos de fabricación estándar, sin embargo algunos ofrecen servicios especializados o modificados para requisitos particulares (MEMS Industry Group–Glossary).

estima el valor agregado en un porcentaje aproximado de cada segmento de la cadena de valor de MEMS, cálculo que se determinó en parte a partir del costo promedio de un micrófono MEMS y con base a la experiencia del Dr. Mathieu Hautefeuille, especialista en MEMS de la Facultad de Ciencias de la UNAM. El tema sobre el valor agregado de igual forma se encuentra sesgado por la información disponible de las dos fuentes anteriormente mencionadas.

En el marco de una mejor comprensión se puntualiza que el concepto de cadena de valor<sup>117</sup> 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. En dicha segmentación de las diferentes tareas que implica un producto MEMS, a grandes rasgos se ubica geográficamente los principales centros o nodos de I&D y fabricación (constatando la creciente participación de Asia), datos que nos ofrecen un panorama aproximativo sobre la configuración de la redes globales de innovación en la industria de los MEMS. La concentración de la cadena en unos cuantos líderes y los arquetipos de empresa MEMS reflejan también la complejidad en la competencia y la continua transmutación de la organización colectiva en las redes de producción e innovación. A saber, en el proceso de innovación de un dispositivo MEMS se incluye una serie consecutiva de pasos: estrategia tecnológica, diseño-simulación, prototipo, prueba y transferencia de la tecnología a la *foundry* para la fabricación. Los MEMS son componentes intensivos en diseño con especificaciones de alta precisión y la capacidad de este segmento esta estrechamente vinculado al conocimiento de las limitaciones en la fabricación. Lo anterior nos da una idea del grado de especialización necesario y las diversas alianzas que pudieran concertarse para construir las redes globales de innovación.

---

<sup>117</sup> Los encadenamientos de producción global incluyen cuatro características importantes: 1) una cadena de valor para cada producto, servicio o recursos; 2) la dispersión de las redes de producción y su distribución a nivel nacional, regional y global, uniendo a empresas de diferente tipo y función; 3) una estructura de gobierno que establece la autoridad entre las firmas determinando como se asignan y se distribuyen los recursos financieros, materiales y humanos al interior de la cadena, y; 4) un marco institucional que identifica como las condiciones locales, nacionales e internacionales determinan cada eslabón de la cadena (Gereffi, 2001/c).

## 2.2 Breve panorama de la cadena electrónica de valor

En el transcurso de los años 80s y 90s del siglo XX, se efectuó un proceso de liberalización y desregulación progresiva del comercio y de la inversión internacional, convirtiéndose en catalizador de la expansión de las redes globales de producción e innovación. Asimismo, el rápido desarrollo y difusión de las tecnologías de información y comunicación<sup>118</sup> (permitiendo que las empresas laboren en tiempo real) han inducido un cambio fundamental en la dinámica de la competencia global. En vías de nuevos requerimientos para enfrentar la competencia global, la empresa transnacional ha sido crecientemente capaz de transferir algunos “segmentos de la cadena de valor agregado”, subcontratando selectivamente capacidades de proveedores especializados, a su vez relocalizando muchas de estas actividades en localidades de bajo costo (Dussel Peters, 1999/a: 64; Ernst, 2003/a:15; Ernst 2006/b:13 y 14).

La industria electrónica ha evolucionado hacia esta especialización vertical (desintegración de la organización de una empresa y su dispersión geográfica a través de las fronteras nacionales), que ya no sólo se restringe al ensamble y manufactura de componentes finales en bajos segmentos de la cadena de valor, sino que ha ampliado la cobertura a todas las etapas de la cadena, incluyendo investigación y desarrollo de productos. La segmentación de la cadena de valor dió lugar a una variedad de redes globales de producción que compiten mutuamente pero que cooperan también entre sí, variando el número de tales redes y la intensidad de la competencia de acuerdo a cada sector, reflejando sus diferentes estadios de desarrollo y estructuras idiosincráticas (Ernst, 2000:15).

La pauta a seguir o gobernabilidad en las redes globales de producción ha sido determinada por las empresas líderes, la cuales retienen la información importante, habilidades y recursos necesarios (diseño de productos, nuevas tecnologías, marcas o demanda de consumidores), salvaguardando la innovación del producto y su comercialización, mientras subcontratan las actividades no esenciales. En circunstancias con un cambio tecnológico

---

<sup>118</sup> Dieter Ernst considera que la introducción de las tecnologías de la información ha reducido los costos de comunicación, facilitando la codificación del conocimiento a través de herramientas del *software* y permitiendo el control remoto e intercambio de conocimiento tácito mediante los medios audiovisuales (Ernst, 2006/b: 13).

rápido y de demanda volátil, esto les ha permitido introducir productos al mercado más rápidamente, obteniendo valor antes que los imitadores entren al mercado, sin invertir grandes montos de capital o manteniendo ocioso los activos en casa (Sturgeon, 2000). Cabe mencionar que la intensificación de la volatilidad se debe al acortamiento del ciclo del producto, la velocidad del tiempo al mercado y ampliación del diseño en respuesta a la diferenciación de productos. En consecuencia, la innovación de productos y procesos en la industria electrónica cobra cada vez mayor relevancia, ya que las empresas se encuentran ante la disyuntiva de mantener los retos de la diferenciación<sup>119</sup> de productos con reducción de costos que cautive a los consumidores<sup>120</sup>, en un mercado cada vez más complejo y competitivo.

Dieter Ernst indica que el proceso de especialización vertical en la industria electrónica ha experimentado dos etapas: la primera etapa se caracterizó por la separación entre diseño y manufactura con el surgimiento de proveedores independientes, y recientemente está transcurriendo una segunda etapa de especialización vertical o fragmentación de tareas dentro del diseño, cuyo costo y complejidad ha crecido exponencialmente<sup>121</sup>. Este fenómeno ha proporcionado la oportunidad para la especialización vertical en servicios intensivos de conocimiento tales como el *software*, ingeniería, desarrollo del producto e investigación y desarrollo. La fragmentación o modularidad<sup>122</sup> de la creación de conocimiento detrás de la innovación ha trazado una “nueva geografía del conocimiento” en la industria electrónica, sintonizando comunidades de conocimiento en diferentes localidades gracias a la interoperabilidad o compatibilidad de estándares.

---

<sup>119</sup> Se espera que el diseño de las próximas generaciones de productos aprovechará el poder de conectividad vía Internet (comunicación de teléfonos celulares, dispositivos de navegación y de bolsillo) y el inicio de un conjunto de versiones cada vez más reducidas en cuanto a tamaño en laptops y computadoras de escritorio (Douglas, 2008).

<sup>120</sup> Dieter Ernst explica que los consumidores al elegir una marca o producto en específico, desarrollan una especie de lealtad y gran expectativa al adoptar cierta tecnología, por lo que el productor está obligado irremediablemente a mejorar su base tecnológica.

<sup>121</sup> Por ejemplo, el costo del diseño ha sobrepasado el costo de la manufactura del *chip*. El costo de manufactura del *chip* sin incluir el costo de ingeniería que cubre máscara y prueba de tarjeta, se calcula en un millón de dólares. Mientras que el diseño alcanza aproximadamente los 10 millones de dólares, siendo por otro lado, escasa la responsabilidad por las correcciones masivas de la fabricación que surgen en la manufactura (Ernst, 2003/b).

<sup>122</sup> Se basa en la reestructuración de un producto final, en la que los componentes ensamblados se combinan para formar módulos que pueden ser desarrollados y producidos por las empresas de ensamblaje o la industria de componentes.

De esa forma las Redes Globales de Innovación (RGI) han trascendido las regiones tradicionales de alta tecnología situadas en Estados Unidos, Europa y Japón, la cuales conservan aún el dominio de la ciencia y propiedad intelectual de alto impacto, pero arbitrando a su vez la nueva geografía del conocimiento. Los nuevos enclaves del conocimiento son una magnífica oportunidad de acceso a recursos y capacidades de bajo costo, el acercamiento a nuevas ideas y formas de hacer las cosas, incluyendo la hibridación de nuevos modelos de negocios, así como la facilidad para penetrar en mercados importantes de crecimiento (Ernst, 2003/b; 2009). La intensificación de la movilidad del conocimiento y búsqueda de talento (ingenieros, científicos y directores altamente calificados) se ha trasladado principalmente a localidades asiáticas donde China e India juegan un papel destacado, limitándose no sólo a la contratación laboral de bajo costo<sup>123</sup> sino reclutando también al personal más calificado.

Las empresas globales en la industria electrónica afrontan una competencia acérrima, que ha provocado desde la concertación de alianzas estratégicas hasta el establecimiento de fusiones. Asimismo acontecimientos como la crisis de internet en 2001-2002<sup>124</sup>, la proliferación de *start-ups*<sup>125</sup> y la incorporación de esquemas de financiamiento a través de capital de riesgo en la última década<sup>126</sup>, han incidido en la reconfiguración de las redes

---

<sup>123</sup> Dieter Ernst menciona que los trabajadores de Estados Unidos en la industria electrónica perciben aproximadamente un sueldo diez veces mayor que la contraparte asiática, exceptuando Japón (Ernst, 2006/b).

<sup>124</sup> Como consecuencia del *crash* de las empresas de internet o punto.com, hubo un despido masivo de trabajadores de este sector y a raíz de esta experiencia, algunas empresas electrónicas optaron por el trabajo temporal como forma de adaptación a los cambios bruscos de la demanda, incrementándose la subcontratación de actividades no esenciales (Ernst, 2006/b).

<sup>125</sup> Diversas circunstancias han alentado el emprendimiento de empresas de arranque o con ideas novedosas y perspectivas promisorias, pero en la historia de Estados Unidos algunas disposiciones legales contribuyeron a que la innovación se convirtiera en tendencia cultural. Por mencionar algunas de las más importantes: la ley emitida por el presidente Dwight D. Eisenhower sobre la Inversión de Pequeñas Empresas a finales de los años 50s, que permitía el otorgamiento de préstamos gubernamentales en condiciones favorables pero estipulando su riguroso cumplimiento; o la iniciativa del congresista William Steiger para reducir el impuesto sobre las ganancias de capital a 28%, logrando hacer más atractiva la aplicación comercial de las patentes; o la ley Bayh-Dole que dentro de determinadas condiciones permitía a las universidades y pequeñas empresas los derechos de propiedad intelectual de las patentes obtenidas a partir de los resultados logrados con recursos públicos (Shlaes, 2008).

<sup>126</sup> Dieter Ernst hace referencia en particular a aquellos cambios en la regulación del sector financiero en Estados Unidos que permitieron a las empresas el acceso a recursos del público para financiarse, como la utilización de fondos de pensiones (decreto del departamento de Trabajo de E. U en 1979 que autorizó a los administradores de fondos de pensiones a invertir capital de riesgo en empresas de arranque) y el ingreso de empresas *start-up* en la bolsa de valores NASDAQ (*National Association of Securities Dealers Automated Quotation*).

globales de producción e innovación. Además, la preocupación en torno a la carrera tecnológica para desarrollar la innovación se ha filtrado en el debate público de las agendas políticas de los países en desarrollo que buscan entrar al ámbito de la competencia<sup>127</sup>.

Desde la perspectiva de las empresas asiáticas sobre la industria electrónica, existe un amplio consenso para centrarse en escalar tecnológicamente la cadena de valor<sup>128</sup> y desarrollar fuertes capacidades de innovación<sup>129</sup>. La estrategia de la región asiática se ha decantado en expandir su base tecnológica, es decir, no intentan competir con los líderes de la tecnología global sino buscan captar segmentos de componentes y procesos tecnológicos del exterior, con el objetivo de construir sus propias fortalezas a partir del diseño electrónico, aprendizaje en manufactura y desarrollo de prototipos. Hasta ahora las actividades de I&D deslocalizadas<sup>130</sup> por las empresas transnacionales en Asia, han estado confinadas al desempeño de capacidades de bajo costo e infraestructura, mesurándose el flujo de conocimiento desde las sedes y otras filiales. No obstante, Dieter Ernst advierte que hay que distinguir dentro de los centros de I&D establecidos por las transnacionales en el exterior, el enfoque entre la “explotación de la base doméstica” y “el aumento de la base doméstica”<sup>131</sup>. 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

---

<sup>127</sup> La evolución tecnológica influye profundamente en la distribución mundial de producción y servicios, así como en la división internacional del trabajo. El dilema de los países en desarrollo ha sido las grandes disparidades en el desarrollo de la ciencia y la capacidad industrial con respecto a los países desarrollados (Rada, 1982).

<sup>128</sup> Para el escalamiento industrial, es condición necesaria una capacidad madura de innovación, después de lo cual, la región “tendrá la capacidad suficiente para atraer los capitales productivos necesarios, para financiar la construcción de infraestructura, la realización de actividades de I&D, la formación de recursos humanos y la elevación del nivel de bienestar” (Ernst, 2001)

<sup>129</sup> Dieter Ernst entiende por “capacidades de innovación”, las habilidades, conocimiento y direccionamiento de técnicas necesarias para diseñar, producir, mejorar y comercializar artefactos: productos servicios, maquinaria y procesos (Ernst, 2006/b:16)

<sup>130</sup> Es el traslado total o parcial de la producción u otras actividades (I&D, comercialización, etc.) de una empresa a otros países. Por supuesto la motivación detrás de esto es el aumento de la rentabilidad de la empresa en localidades de menor costo laboral, condiciones laborales más flexibles, legislaciones menos rigurosas con el medio ambiente y cierta especialidad política.

<sup>131</sup> Dieter Ernst emplea el concepto de Walter Kuehmerle sobre las motivaciones o conductores de la IED dentro de la I&D.

(probablemente sujetos a decisiones de las cúpulas políticas superiores) 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. Existen casos donde los acuerdos de participación en los centros de I&D han sido más equitativos y por otra parte también, las empresas trasnacionales interactúan más cercanamente con los estándares tecnológicos de mercados en expansión (como por ejemplo, los estándares de telecomunicaciones en China). Inmerso en este contexto, se ha ido incubando en Asia el modelo de innovación frugal asociado a la idea de emplear las tecnologías existentes para desarrollar productos y servicios destinado a consumidores de bajos ingresos. Es un enfoque de innovación idiosincrático con un criterio “de lograr más con menos recursos”, teniendo en cuenta siempre la inexistente o restrictiva infraestructura, y adaptándose a las necesidades específicas de los masivos mercados locales, racionalizando las características de los productos para simplificar su funcionamiento y con el apoyo de ecosistemas de servicios eficientes<sup>132</sup> (Nirmalya y Phanish, 2012). Este tipo de innovaciones comprenden un cuerpo de conocimiento, un conjunto de estándares y una comunidad de profesionales que probablemente no podrán compararse a la tecnología de frontera desarrollada en países líderes, sin embargo, lo interesante de este modelo de la región asiática es la reivindicación de una trayectoria propia de desarrollo enfocada a pensar sus propios problemas, adaptando soluciones que se ajustan a sus necesidades reales.

Por otro lado, en el contexto de la deslocalización de actividades de I&D inmersas en las RGI, México se ha planteado la necesidad de desarrollar capacidades de innovación en la industria electrónica para escalar hacia segmentos de mayor valor agregado (diseño y desarrollo de prototipos), sobre todo desde la recesión mundial de 2001-2002. Las actividades de investigación y desarrollo en las dos últimas décadas han sido deficientes con una mínima participación del sector privado. En México, la contribución de las

---

<sup>132</sup> Los ecosistemas de servicios es toda una red de proveedores de partes, reparación, financiamiento y otros servicios. Por ejemplo, la empresa hindú Selco ofrece paneles solares en combinación con baterías de almacenaje, siendo su principal mercado el rural. Son consumidores con presupuesto limitado, por lo cual esta empresa ofrece conjuntamente un paquete de financiamiento acordado con bancos rurales locales. También personal de apoyo de la empresa visita a los clientes periódicamente para asegurarse del apropiado funcionamiento del sistema y coleccionar baterías para reciclaje (Nirmalya y Phanish, 2012).

empresas domésticas en cuanto a niveles de innovación y empleo ha sido mayor en relación a las empresas transnacionales o con Inversión Extranjera Directa (IED) (Dussel Peters, 2009). Al respecto, Dussel Peters considera que las empresas con IED no se han desempeñado necesariamente como agentes transmisores de tecnología a causa del escaso incentivo que representan los programas de importación temporal para la reexportación (que en definitiva favorecen la masiva importación de partes y componentes), además de otros factores estructurales<sup>133</sup>. En México la deslocalización de I&D y la subcontratación de investigación en centros académicos de proyectos en relación con la industria electrónica por empresas transnacionales, es todavía a escala muy pequeña e implica actividades de modificación de diseño y todo tipo de pruebas<sup>134</sup>, tareas que desde el enfoque de Dieter Ernst podrían catalogarse dentro de una esquema de inserción con las RGI de “explotación de la base doméstica”.

### 2.3 Los Sistemas Micro Electromecánicos (MEMS) y su historia

Los Sistemas Micro Electromecánicos o MEMS<sup>135</sup> son dispositivos integrados miniaturizados, cuya tecnología combina estructuras mecánicas<sup>136</sup> (partes móviles),

---

<sup>133</sup> Dussel Peters destaca que desde 1993 las normas para la IED fueron radicalmente desreguladas, “(se) abolió todos los requerimientos de rendimiento que existían históricamente (por ejemplo, en cuanto exportaciones y mínimos en el valor agregado nacional particularmente en sectores como el automotriz)”, que habían tenido vigencia a partir de la década de los 90s del siglo XX, con el modelo económico de sustitución de importaciones. Por otro lado también, la aprobación de proyectos de inversión extranjera se sometió a un procedimiento más laxo que permitía su resolución en un período de 45 días después del cual, las aplicaciones eran aprobadas automáticamente. Resulta incongruente además, que en el artículo 29 de la actual ley para aprobación de la IED, los criterios contemplados como el impacto en el empleo y entrenamiento de trabajadores, su contribución tecnológica, el cumplimiento con las disposiciones ecológicas y el apoyo para la competitividad en México, no han sido implementados y utilizados eficientemente como instrumento político de evaluación por lo menos hasta el 2008. Dentro de este marco de análisis se enfatiza igualmente la falta de coordinación de políticas a nivel federal y estatal para atraer IED que proyecte una estrategia de largo plazo, con el objetivo de generar incentivos para un comportamiento cooperativo (Dussel Peters, 2009:3, 4 y 33).

<sup>134</sup> En el artículo titulado “*México: Pumping Out Engineers*” publicado el 21 de Mayo de 2006 por Geri Smith en la revista *Businessweek*, se menciona que empresas como *General Electric*, *General Motors*, *Honeywell* y *Delphi* han creado o expandido centros de I&D en México, contratado cientos de ingenieros para desarrollar diseño y realizar pruebas sobre todo para las industrias aeroespacial y aeronáutica. Se espera que las empresas transnacionales cada vez más, recluten a los técnicos e ingenieros en actividades de mayor valor agregado, confiando en la oferta de una fuerza laboral altamente calificada y convenientemente barata (su costo es 30 a 40% menos que en Estados Unidos).

<sup>135</sup> Por sus siglas en inglés *Micro Electromechanical Systems*, es comúnmente utilizado en Estados Unidos, en Europa se conoce como tecnología de micro sistema y en Japón se aplica el término de micro máquinas.

<sup>136</sup> Las micro estructuras mecánicas pueden ser: microfluídicas (válvulas, bombas y canales de flujo) o micro máquinas (engranajes, turbinas, motores de combustión).

sensores, actuadores y microelectrónica, fabricados sobre una base de silicio con técnicas similares a las utilizadas en los circuitos integrados (CIs), empaquetados en tamaños que varían desde el rango micrométrico (una milésima de milímetro) hasta unos pocos milímetros. Convencionalmente la función de un MEMS oscila entre ser un sensor o actuador: 1) los sensores reúnen o detectan información del entorno a través de la medición de fenómenos mecánicos, térmicos, biológicos, químicos, ópticos, magnéticos u otros; 2) y 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. Su utilidad se logra una vez que esta electrónica se agrega para procesar la información de la señal y se provee de la lógica de control dentro de un empaque apropiado (MNX| MEMS&Technology Exchange).

La tecnología MEMS se fusiona o integra no sólo con la microelectrónica sino también con otras tecnologías como la fotónica, nanotecnología u otras sobre un sólo sustrato, denotando su carácter interdisciplinario en un amplio rango de aplicaciones. La ubicuidad de los MEMS en la vida cotidiana se constata desde un dispositivo capaz de medir la aceleración a la que se somete el mando del Wii (videoconsola producida por la empresa japonesa Nintendo), el acelerómetro que igual opera en las bolsa de aire anti-impacto de los autos; en sensores de presión, temperatura y humedad; 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).

Esta tecnología utiliza un sinnúmero de materiales (metales, polímeros, cerámicos, etc.) y las técnicas comúnmente utilizadas de fabricación son el micro maquinado de superficie y micro maquinado de volumen<sup>137</sup>, su elección dependerá del tipo de dispositivo que se esté creando y el sector comercial en el que se quiere operar. Con las técnicas de fabricación por lotes, los MEMS incrementan el rendimiento y confiabilidad, además de las obvias ventajas que acompaña la reducción de tamaño, peso, volumen (que implica a su vez una reducción

---

<sup>137</sup> Estos son procesos de fabricación de micro estructuras móviles en tres dimensiones, compatibles con los procesos convencionales de fabricación de circuitos integrado (López, 2011).

de energía eléctrica y térmica) y costo. Hoy en día existen diferentes empresas, desde las más grandes que se especializan en la fabricación de componentes de bajo costo, alto volumen o paquetes de soluciones para los mercados finales (automotriz, biomedicina, electrónica, aeroespacial, comunicaciones, y otros), hasta pequeñas empresas que ofrecen soluciones innovadoras y absorben el costo de fabricación con altos márgenes de ventas (Borboa y Rivera, 2010). La gran expectativa del desarrollo de la tecnología MEMS y su incursión en múltiples industrias es muy prometedora, aunque requiere todavía superar algunas dificultades técnicas para convertirse en una opción atractiva para varias aplicaciones de uso comercial.

La historia de los MEMS está estrechamente vinculada a la microelectrónica con la invención de los transistores en los años 50 del siglo XX en *Bell Telephone Laboratories*. En ese entonces, la complejidad y alto costo de la manufactura electrónica no permitía compatibilizar las necesidades de conexión entre los transistores y sus componentes en áreas pequeñas. Un avance importante en 1959 dio lugar al concepto de circuito integrado, resultado de la demanda de Estado Unidos en la miniaturización del volumen y peso de sus equipos bélicos. Lo novedoso del circuito integrado consistía en su capacidad de conectar a los transistores y los otros componentes entre sí sobre una placa de silicio, en un principio por cables y después por conductores de aluminio en miniatura. En la actualidad una pastilla o "*chip*" de aproximadamente 5 milímetros puede contener miles o millones de dispositivos electrónicos interconectados y los conductores de aluminio llegan a tener un espesor treinta veces más delgado que un cabello humano. Los adelantos posteriores en esta área, condujeron a la producción de los microprocesadores que emulaban el funcionamiento de un cerebro y una memoria pequeña, procesando la información suministrada para realizar una serie compleja de funciones (King, 1982).

A partir de la década de los 60s toma lugar el comienzo de la investigación de los MEMS, expresándose la fascinación por la miniaturización en el documento de Richard Feynman (1954) "*There's Plenty of Room at the Bottom*", en el cual se disertaba acerca de la manipulación de la materia a escala atómica y la posibilidad de fabricar circuitos electrónicos de mayor densidad en las computadoras. Para 1964, el ingeniero Harvey

Nathanson de *Westinghouse Research Labs* en *Pittsburgh* creaba el primer dispositivo MEMS que servía como sintonizador para radios micro electrónicos, utilizando asimismo la técnica de micro maquinado de superficie<sup>138</sup>. Hasta los años 90s fue cuando se comercializó el dispositivo MEMS más emblemático de la industria automotriz, el detector de colisión en las bolsas de aire<sup>139</sup>. En 1993 el Centro de Microelectrónica de Carolina del Norte había creado procesos accesibles y rentables para múltiples usuarios, funcionando como *foundry* al cobrar un costo determinado al usuario, él cual podía disponer de un centímetro cuadrado para crear su propio diseño. Posteriormente *Sandia National Laboratories* (SNL)<sup>140</sup> en 1998 había desarrollado el proceso de fabricación SUMMiT IV<sup>141</sup> (*Sandia Ultra-planar, Multi-level MEMS Technology*), evolucionando posteriormente al SUMMiT V que incluía el proceso de micro maquinado de superficie de silicio poli cristalino (diseño flexible de cinco capas que permite la creación de sistemas más avanzados). Un importante impacto se logró en 1999 con el desarrollo del primer MEMS interruptor de red óptico<sup>142</sup> por la empresa *Lucent Technologies*, permitiendo la disminución del costo de redes de comunicación (Gómez, 2011; Southwest Center for Microsystems Education). Desde entonces hasta ahora, se ha reconocido el prometedor potencial de la tecnología MEMS para disminuir las dimensiones de los sistemas y la reducción de costos. En una visión integral, los circuitos integrados podrían considerarse como el cerebro de un sistema y los

---

<sup>138</sup> Antes de 1996 casi todos los procesos de fabricación de MEMS podían clasificarse en dos categorías principales: micro maquinado de superficie (*surface*) y micro maquinado de volumen (*bulk*). El primero genera micro estructuras por medio de ciclos de depósito y remoción de capas delgadas sobre un sustrato. El maquinado de volumen se refiere a procesos en los que se graban, esculpen o excavan los sustratos de silicio, vidrio u otros materiales en forma selectiva, para formar micro estructuras de mayor profundidad (Oropeza y Hautefeuille; 2010).

<sup>139</sup> La primera demostración de un acelerómetro se realizó en la Universidad de Stanford, California en 1979. Sin embargo, no fue sino quince años después en 1993 tras los respectivos procesos de diseño, rediseño, caracterización y calificación en el laboratorio de la empresa *Analog Devices*, cuando este dispositivo se aceptó para sistemas de seguridad de bolsas de aire en la industria automotriz (Oropeza y Hautefeuille; 2010).

<sup>140</sup> *Sandia National Laboratories* es líder mundial de la tecnología para el desarrollo, fabricación y producción de la microelectrónica, dispositivos fotónicos, micro máquinas y micro sensor. Entre sus fortalezas distintivas incluyen el desarrollo de materiales, diseño de productos y equipo, tecnologías de fabricación de semiconductores, y tecnologías avanzadas de envasado, fiabilidad, análisis de fallas y entrega del producto para ambientes extremos.

<sup>141</sup> Es un proceso de fabricación por lotes usando herramientas de procesamiento de circuitos integrados. Usando esta tecnología es posible logara altos volúmenes y bajo costo (Sandia National Laboratories, MEMS Home-Technical Info).

<sup>142</sup> Los interruptores ópticos son dispositivos opto eléctricos que consisten en una fuente de luz y un detector que produce una salida de conmutación. Proporciona una función de conmutación en una red de comunicación de datos. Estos interruptores MEMS ópticos de micro espejos se utilizan para cambiar o reflejar un canal óptico o una señal de un lugar a otro en función del ángulo relativo del micro espejo (Torreón, 2011).

MEMS, como los ojos y brazos que aumentan la capacidad de toma de decisiones, permitiendo a los microsistemas detectar y controlar el medio ambiente (MNX|MEMS&Technology Exchange). En los últimos 20 años el desarrollo de nuevos dispositivos MEMS se ha intensificado, surgiendo nuevas aplicaciones y mejoras tecnológicas.

## 2.4 Los MEMS y la industria de los semiconductores

Desde una perspectiva de conjunto los MEMS se ubican dentro del sector de semiconductores y componentes electrónicos. Los semiconductores se han convertido en un indicador del progreso tecnológico con un profundo impacto en innumerables actividades de la sociedad actual. Esta industria ha transformado la forma en que trabajamos, nos transportamos, comunicamos, nos entretenemos y respondemos ante el ambiente<sup>143</sup>.

La industria de semiconductores al paso de cuatro décadas, se ha distinguido por el rápido mejoramiento de sus productos, logros que se han traducido en una muy alta escala de integración (número de componentes por *chip*), mayor velocidad, menor consumo de potencia, productos cada vez más compactos y ligeros, así como mayor capacidad de memoria<sup>144</sup>. En los últimos años, la industria de los semiconductores ha transitado a un esquema más flexible, el cual se ajusta a un menor tiempo de fabricación, bajo costo, volúmenes más pequeños y ciclos del producto más cortos, racionalizándose las

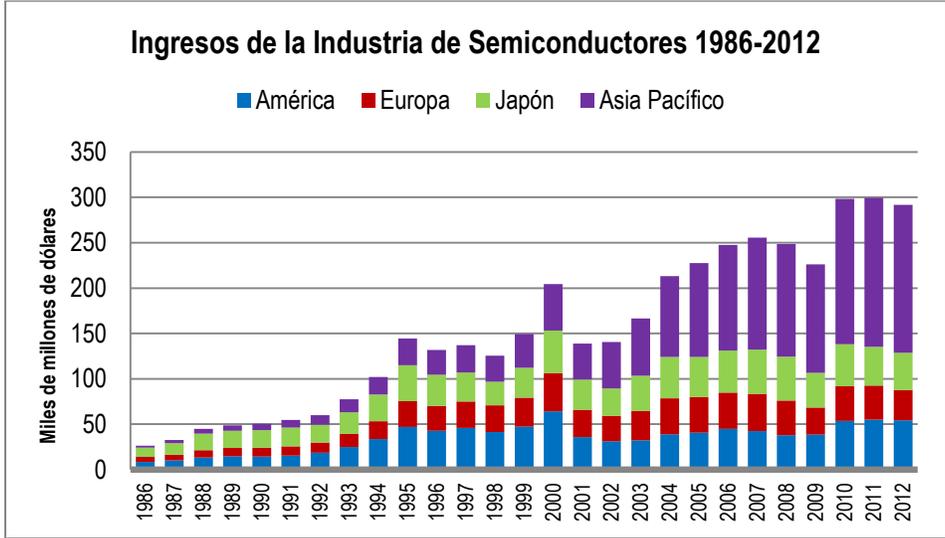
---

<sup>143</sup> Alexander King, científico y pionero ambientalista cofundador del Club de Roma (grupo de activistas que aspiran a ser catalizadores del cambio concierne a problemáticas mundiales) en el informe “Microelectrónica y Sociedad para bien o para mal”, explica que desde la sustitución de tubos de vacío por el transistor (dispositivo basado en las propiedades semiconductoras y la física del estado sólido) y el posterior desarrollo del circuito integrado, la micro tecnología ha evolucionado vertiginosamente. Su influencia se ha infiltrado a casi todos los sectores de la economía y la sociedad de forma poco perceptible en nuestra vida cotidiana, reflejados por ejemplo, en los caracteres del recibo de luz, la reserva de un pasaje de avión, en robots laborales, automatización de funciones de contabilidad, sistemas bancarios electrónicos, artefactos militares y otros. Especialmente dentro de la amplia gama de aplicaciones, la expresión más revolucionaria de la micro tecnología ha sido la computadora, en la que puede conjugarse todo tipo de funciones desde un procesador de palabras, correo electrónico, reproductor de música y video, acceso a bancos de datos y a casi toda la información que el ser humano posee. Entre las ventajas que esta industria representa, se ejemplifica el caso de una máquina de coser con un microprocesador que controla el patrón de costura al sustituir la función de 350 componentes mecánicos.

<sup>144</sup> La “*Semiconductor Industry Association*” (SIA) en el “*International Technology Road Map for Semiconductors*” 2003, ha previsto la terminación de la llamada era del “escalado feliz”, puesto que la posterior disminución de las dimensiones no resultará más en disminución de potencia (debida a la fuga de corriente de los dispositivos) y costos.

operaciones y transfiriéndose las funciones más rutinarias a locaciones de bajo costo principalmente en Asia-Pacífico. Es una industria por primera vez conducida por los clientes, cuyos requerimientos específicos se planifican para operar en una cadena de valor en tiempo real (capacidad de fabricación, ensamble, prueba, distribución) de forma integral. Se pronostica un papel relevante de este sector en tres temas clave que preocupan a la sociedad moderna: la eficiencia de la energía, comunicaciones y seguridad<sup>145</sup>.

**GRÁFICA 1**



Fuente: Elaboración propia con datos estadísticos de *Historical Billings Report 1986-2013*, *World Semiconductor Trade Statistic*.

Históricamente el sector de semiconductores ha crecido por lo menos 40 años sin interrupción, registrando una tasa de crecimiento anual compuesta de 9.68% desde 1986-2012, a pesar de las crisis severas de la economía, la burbuja de internet en 2001 y la crisis financiera de 2008-2009. La mayor parte de la producción se concentra en la región de Asia-Pacífico y por ende se ha expandido notablemente su participación en la generación

<sup>145</sup> El advenimiento del incremento en la demanda de energía, la limitación de los recursos y el cambio climático requieren del uso eficiente de la energía, incursionando los semiconductores en innovaciones de energías renovables o en el control de emisiones dentro del sector automotriz. En el campo de las comunicaciones, los semiconductores contribuyen en la reducción del costo de fabricación de teléfonos celulares al igual que ofrecen componentes para aumentar la velocidad de transmisión inalámbrica de datos. La globalización de la información por otro lado, exige medidas más estrictas de seguridad en comunicaciones, transacciones financieras, identificación de datos y la consiguiente protección de toda esta información en las redes, temas que los semiconductores han respondido con soluciones inteligentes (Bauer, 2009).

de ingresos<sup>146</sup> de la industria de semiconductores a partir del año 2000 con aproximadamente 25% , incrementándose a más del 55% en 2012, a causa del aumento en la demanda interna de esta región. Asimismo América ha disminuido su participación en los ingresos de esta industria durante el período 2000-2012 al pasar de 31.35% a 18.64%, mientras que Europa disminuyó su aportación de 20.70% a 11.37% en el mismo período (estos cambios se pueden apreciarse en la gráfica 1).

En 2011 se registró una sólida demanda en muchas áreas, específicamente en optoelectrónica, sensores y actuadores, así como en microprocesadores obteniendo ingresos históricos de 299.5 mil millones de dólares (véase cuadro 1). La optoelectrónica incrementó su mercado un 6.4% con respecto al 2010 reportando ingresos de 23.1 mil millones de dólares, ya que su importancia estriba en el aporte de energía eficiente y bajo costo para un amplio rango de productos incluyendo dispositivos móviles y cámaras. El segmento por ahora más pequeño de los semiconductores, el de sensores y actuadores experimentó una tasa de mayor crecimiento de 15.5% en 2011 con respecto a 2010, obteniendo ingresos de 8 mil millones de dólares. En este segmento, la tecnología MEMS es cada vez más significativa principalmente en aplicaciones de electrónica de consumo. Como bien puede apreciarse en el cuadro 1, los microprocesadores como parte de la categoría de circuitos integrados reportó la tasa más dinámica de crecimiento en 2011 con 7.5%, registrando ingresos de 65.2 mil millones de dólares, cuyo crecimiento fue conducido por la demanda de PCs y dispositivos con capacidades de procesamiento. La industria de los semiconductores se ha caracterizado por reinvertir gran parte de sus ingresos en capital e I&D, lo cual junto a la ingeniería de talento, altas exportaciones y avances de vanguardia han consolidado a esta industria como un pilar de la innovación (Kazmierski, 2012/a).

---

<sup>146</sup> Especialmente realizan procesos de montaje final o *back-end* que consiste en situar en posición y fijar la pastilla del CI ya fabricado sobre un soporte de pastilla y un marco de conductores. Las grandes concentraciones de instalaciones fabriles están en Taiwán, Malasia, Tailandia, Indonesia, Filipinas y en número creciente en China y Vietnam (Baldwin, Rubin y Gerami, 1998).

**CUADRO 1**

<b>TASA DE CRECIMIENTO ANUAL E INGRESOS EN LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES, POR REGIÓN Y PRODUCTO 2011-2014</b>				
	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>América</b>	2.8	-4.4	3.7	4.8
<b>Europa</b>	-1.7	-10.7	0.9	4.5
<b>Japón</b>	-7.9	-2.1	3.3	4.4
<b>Asia Pacífico</b>	2.5	-1.4	5.9	5.6
<b>Mundial</b>	0.4	-3.2	4.5	5.2
<b>Ingresos (mil millones de dólares)</b>	<b>299.52</b>	<b>289.93</b>	<b>303.05</b>	<b>318.76</b>
<b>Semiconductores discretos</b>	8.0%	-9.7%	5.4%	5.8%
<b>Ingresos</b>	21.38	19.30	20.35	21.54
<b>Opto electrónica</b>	6.4%	12.5%	6.9%	6.1%
<b>Ingresos</b>	23.09	25.98	27.77	29.47
<b>Sensores</b>	15.5%	-0.4%	7.4%	7.2%
<b>Ingresos</b>	7.97	7.93	8.51	9.13
<b>Circuitos integrados</b>	-1.1%	-4.2%	4.1%	5.0%
<b>Ingresos</b>	247.07	236.71	246.41	258.61
<b>Analógico</b>	0.1%	-6.3%	3.6%	5.8%
<b>Ingresos</b>	42.33	39.68	41.12	43.52
<b>Micro</b>	7.5%	-7.5%	2.9%	4.6%
<b>Ingresos</b>	65.20	60.31	62.07	64.95
<b>Lógico</b>	1.8%	2.2%	6.1%	5.7%
<b>Ingresos</b>	78.78	80.54	85.46	90.37
<b>Memoria</b>	-12.7%	-7.5%	2.8%	3.5%
<b>Ingresos</b>	60.74	56.16	57.75	59.76
<b>INGRESOS-MUNDIAL</b>	299.52	289.93	302.05	318.76

Fuente: Cuadro elaborado con datos de *FORECASTS SEMICONDUCTOR MARKET TO RECOVER IN 2013 AFTER SLIGHT DECLINE IN 2012*.  
*World Semiconductor Trade Statistics*.

La organización no lucrativa *World Semiconductor Trade Statistics* en el reporte *WSTS Semiconductor Market Forecast Autumn 2012*, predice que la industria de los semiconductores logrará recuperarse en 2013 después de la desaceleración de 2012 cuyo desempeño estuvo influenciado por los temas de deuda de la Unión Europea y el precipicio fiscal de Estados Unidos<sup>147</sup>, con un crecimiento positivo de 4.5% recaudando probablemente ingresos de 303 mil millones de dólares. De igual forma para el 2014 se anticipa que el mercado mundial crecerá 5.2% con ingresos de 319 mil millones de dólares en un entorno económico más saludable (véase cuadro1).

<sup>147</sup> El precipicio fiscal es un término usado en las discusiones sobre la situación fiscal de Estados Unidos para describir un conjunto de aumentos de impuestos y recortes de gastos en sectores relevantes para esa economía, como defensa, que deben entrar en vigor a finales de 2012 y principios de 2013 (González, 2012).

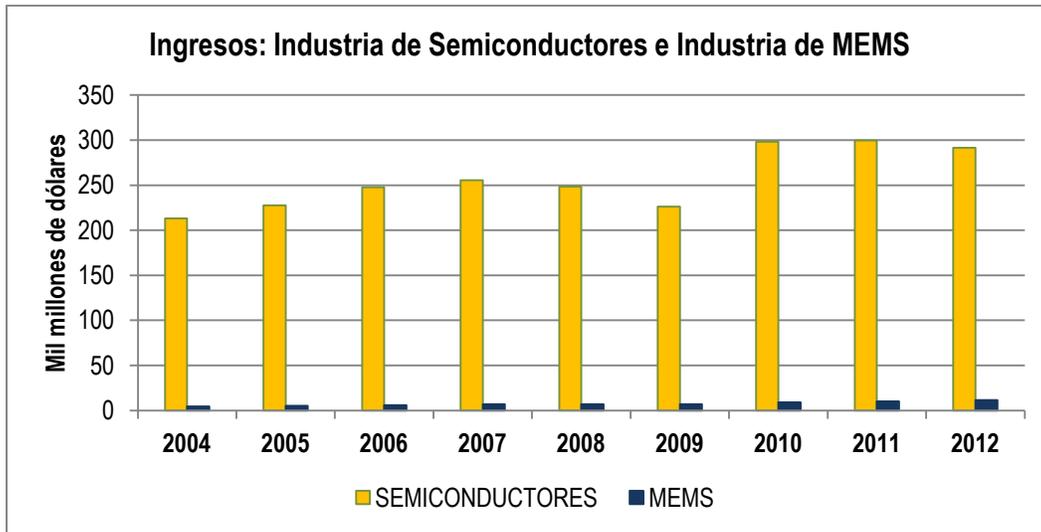
En relación a los MEMS la comercialización de algunos dispositivos se inició a principios de la década de 1980<sup>148</sup>, considerándose por lo tanto una industria relativamente joven con un repunte excepcional a causa de los MEMS ópticos para los sistemas de telecomunicaciones y su posterior declive en el año 2000 con la crisis de la burbuja de internet<sup>149</sup>. En la primera década del 2000, los sensores de presión, los cabezales de inyección de tinta en las impresoras y los proyectores digitales con micro-espejos, fueron las aplicaciones de MEMS que generaron aproximadamente el 80% del mercado, disminuyendo a 50% su contribución en 2010. Actualmente la industria de MEMS se encuentra en un punto de inflexión a partir del cual el crecimiento espera acelerarse gracias a la convergencia en aplicaciones que demanden volumen, al incremento de la capacidad de fabricación con plataformas estandarizadas (con mejor rendimiento y facilidad de funciones de integración) y al incremento de capital de riesgo en el mercado (*BLA MEMS Industry, Report 2010*; Knutti y Allen; 2004). Con el fin de ilustrar el peso que están adquiriendo los MEMS en la industria de semiconductores, se presentan las gráficas 2 y 3, donde a grosso modo se representa la proporción de los MEMS en los ingresos totales de la industria de semiconductores en el período de 2004-2012, observándose que en 2004 participaban con más del 2% y en 2012 duplicaban su participación en casi 4% (en el reporte de la tecnología MEMS, “*MEMS Technology Nearing the Tipping Point*” del banco de inversión privada *Boucher-Lensch Associates* se estimaba para 2010 una participación de los MEMS en el mercado de la industria de los semiconductores de casi 5%).

---

<sup>148</sup> La popularidad de esta tecnología surgió con la aparición de dos aplicaciones de alto volumen: el sensor de presión del automóvil para control de la contaminación y los sensores de presión sanguínea desechables. También a principios de 1980 surgió una onda de nuevas *start-ups* enfocadas en el área de sensores de presión, en mercados muy específicos (por ejemplo, la tecnología de la empresa Microsensor se enfocó en el mercado de la cromatografía de gases) y en la comercialización de MEMS en general (Knutti y Allen; 2004; Ouellette, 1996).

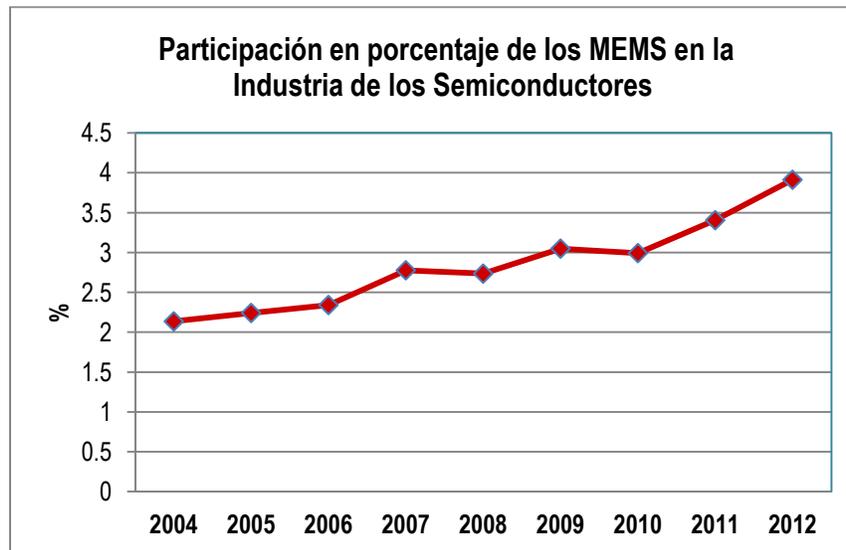
<sup>149</sup> A finales de 1990 varias universidades y empresas desarrollaron componentes MEMS como tecnología de vanguardia para proporcionar soluciones en las redes de banda ancha, incrementándose su demanda. Este fue un incentivo para invertir en instalaciones de fabricación, sin embargo, los integradores de sistemas cancelaron órdenes y las ventas de los componentes cayeron 99%, afectando gravemente a las *start-ups* de MEMS y conduciendo a despidos masivos en los laboratorios de I&D. Las empresas que sobrevivieron en el campo de la tecnología MEMS para el sector de telecomunicaciones eran fabricantes de componentes muy simples (interruptores de protección y atenuadores) bien establecidos como JDSU y DiCON (Ford, 2005).

**GRÁFICA 2**



Fuente: Elaboración propia con datos estadísticos de *Historical Billings Report 1986-2013*, *World Semiconductor Trade Statistic*, de donde se extrajeron las cifras de la industria de semiconductores. Los datos sobre la industria de MEMS tienen su origen en varios documentos y reportes de Yole Développement (Eloy, 2007; Eloy, 2006).

**GRÁFICA 3**



Fuente: Elaboración propia con datos estadísticos de *Historical Billings Report 1986-2013*, *World Semiconductor Trade Statistic*, de donde se extrajeron las cifras de la industria de semiconductores. Los datos sobre la industria de MEMS tienen su origen en varios documentos y reportes de Yole Développement (Eloy, 2007; Eloy, 2006).

Recientemente la demanda de los MEMS se ha incrementado dramáticamente desde que Steve Jobs transmutó la visión del teléfono celular en una poderosa computadora. La adopción de los MEMS en estos productos incrementó la interacción del usuario con

pantallas sensibles al tacto y la auto-rotación del paisaje-imagen. Hacia el año 2011 los teléfonos inteligentes habían multiplicado la demanda de sensores de aceleración, giroscopios, sensores magnéticos, micrófonos, sensores de presión y filtros de radiofrecuencia (Bryzek, 2011).

El pronóstico de algunos entusiastas sobre el potencial de los MEMS rebasa las estimaciones de las consultorías dedicadas al análisis de los nichos de mercado de esta tecnología (Yole Développement e IHS iSuppli), proyectando que en un futuro los MEMS crecerán a un ritmo que permita alcanzar y superar el mercado de los semiconductores de 2011 calculado en 300 mil millones de dólares. 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 un billón de sensores y actuadores para los siguientes mercados: control del clima, exploración y producción de petróleo, 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 290 mil millones de dólares en valor agregado de servicios derivados. No menos optimista es la perspectiva para el año 2017 de Horst Muenzel, consejero delegado y director general de la empresa Akustica, pronosticando el consumo de 7 billones de dispositivos MEMS al conformar 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).

## **2.5 La industria de los MEMS y los diferentes mercados que lo conforman**

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, de modo que una clase de MEMS tiene aplicación en diferentes mercados, tal como se presenta en el cuadro 2<sup>150</sup>.

**CUADRO 2. EJEMPLOS DE MEMS EN APLICACIONES DE DIFERENTES INDUSTRIAS**

	ELECTRÓNICA DE CONSUMO	MÉDICO	COMUNICACIONES	AEROESPACIAL/DEFENSA	AUTOMOTRÍZ	OTROS
<b>SENSORES INERCIALES (Acelerómetros y Giroscopios)</b>	Podómetro, controlador de juegos, estabilizador de imagen de cámaras, protección del disco duro	Seguimiento de movimiento, marcapasos		Guía de misiles, navegación, dedo de láser	Bolsas de aire, control dinámico del vehículo, sistema de navegación, suspensión activa, detección de volcadura	Exploración sísmica, robótica, vibración de la máquina
<b>DISPOSITIVOS ÓPTICOS</b>	Micro-pantalla, lentes de enfoque automático	Micro espectrómetro, para la auto-prueba /control del paciente	Atenuadores de ópticos variables, conmutación óptica, filtro sintonizable			Micro espejos en lectores de códigos de barras y proyectores
<b>MEMS RF (RADIOFRECUENCIA)</b>			Capacitores y resonadores sintonizables para teléfonos móviles, interruptores en las estaciones de base	Interruptores y capacitores sintonizables para radares y telecomunicaciones		Interruptores y relés, resonadores y fusibles
<b>MICRÓFONOS</b>	Teléfonos celulares, Notebook, videocámaras	Audífonos			Sistema de llamadas manos libres	
<b>DISPOSITIVOS MICROFLUÍDICOS</b>	Cabezales de inyección de tinta	Lab on chip para diagnóstico y análisis, respiradores, bomba de insulina, micro agujas				Micro dosificación, cromatografía de gases y líquidos, espectrómetro, micro refrigeración, micro reactores
<b>SENSORES DE PRESIÓN</b>	Altimetros para excursionistas, equipo de buceo	Presión de sangre, diálisis renal, respiración		Sistema de control de vuelo, presión de la cabina, sistema hidráulico	Presión del aire del colector, sistema de control de presión de los neumáticos	
<b>SENSORES DE FLUJO</b>		Prueba de la función a largo plazo			La entrada de aire al motor, calidad de aire en la cabina	

<sup>150</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 (véase cuadro 2) (Van Heeren y Salomon, 2007).

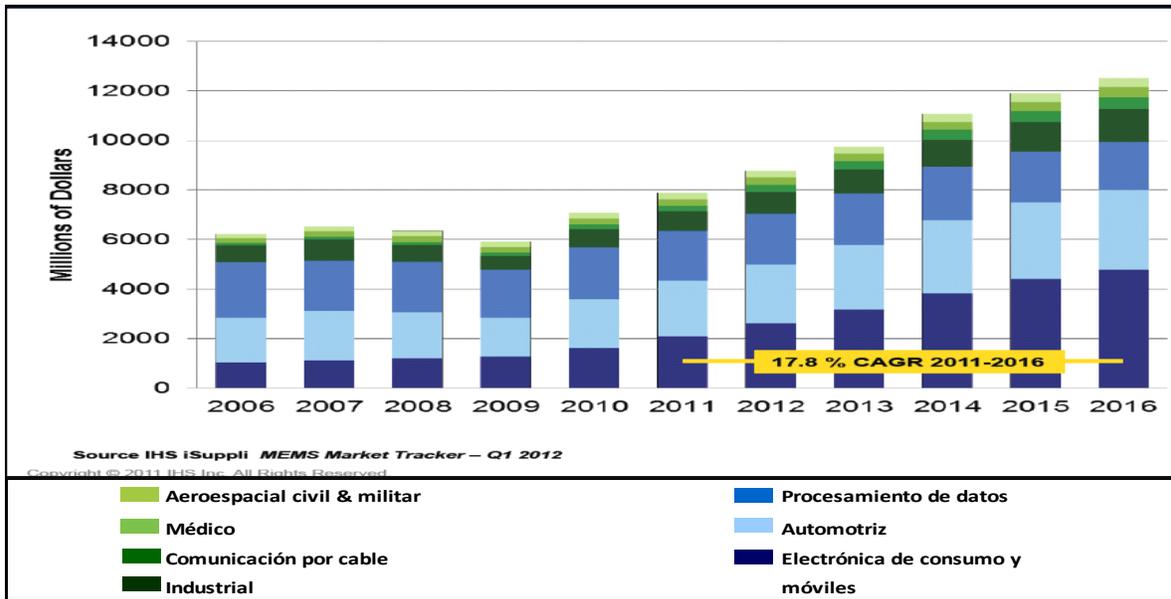
<b>SENSORES IR (INFRARROJOS)</b>	Control de la temperatura de la cabina, prevención del accidente, sistema anti-niebla, ocupación del asiento, control de neumáticos y frenos		Termómetro, diagnóstico	Control de seguridad		Ambiente de casa, control de microondas, electrodomésticos, industrial HVAC (humedad, ventilación y aire acondicionado)
<b>OTROS</b>	Sensores de huellas digitales para autenticación			Sensores de huellas digitales para autenticación		Tarjetas de sonda para pruebas eléctricas

Fuente: *MEMS Recent Developments, Future Directions* (Van Heeren y Salomon, 2007).

Para facilitar la comprensión de esta industria, en este apartado se presenta el mercado de los MEMS clasificados en sectores por aplicación, de forma que se agrupan en siete clases: electrónica de consumo/teléfonos, automotriz, aeroespacial/defensa, médico, telecomunicaciones, industrial y procesamiento de datos. El sector de MEMS de procesamiento de datos no se documenta por la escasa información de las fuentes consultadas de IHS iSuppli y Yole Développement, sólo mencionaremos que las aplicaciones de los MEMS en este sector comúnmente se encuentran en las cabezas de inyección de tinta de impresión, dispositivos de temporización para unidades de disco duro y espejos de escaneo para impresoras láser.

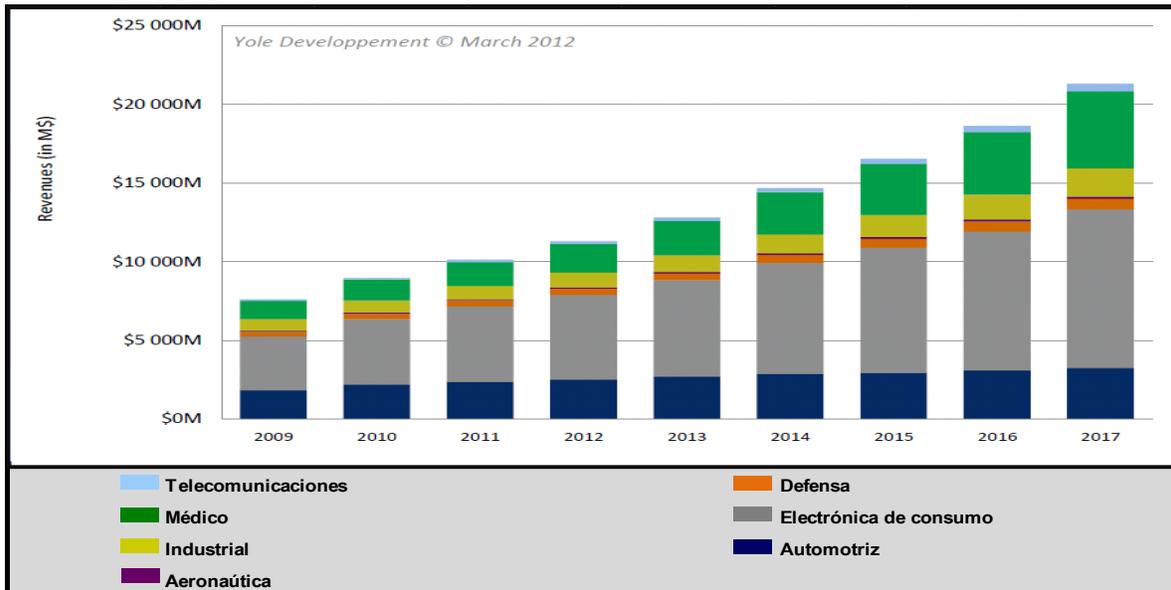
Los mercados de demanda inicial fueron el aeroespacial/defensa, automotriz y médico, y recientemente han adquirido notoriedad los MEMS en mercados de alto consumo, destacándose prácticamente en cuatro ámbitos de éxito comercial: sensores de presión, acelerómetros, micro espejos ópticos y cabezales de inyección de tinta. Actualmente los mercados de electrónica de consumo y automotriz son los principales motores de crecimiento de los dispositivos MEMS, seguido de los mercados de telecomunicaciones y médico (*BLA MEMS Industry, Report 2010*; IHS iSuppli). Las consultorías que ofrecen análisis de mercado de la tecnología MEMS, IHS iSuppli de origen americano y Yole Développement de origen francés, estiman que los ingresos totales en el mercado de los sensores y actuadores MEMS en 2013 alcanzarán un monto entre 9.09 y 12.3 mil millones de dólares, tal como se visualiza en las gráficas 4 y 5.

**GRÁFICA 4. INGRESOS DE LA INDUSTRIA MEMS EN EL PERÍODO 2006-20016**



Fuente: IHS iSuppli. Jérémie Bouchaud. *The MEMS revolution: from billions to trillions*. MEMPTC MEMS Symposium, MAY 2012.

**GRÁFICA 5. EVOLUCIÓN DEL MERCADO DE LOS MEMS. INGRESOS EN EL PERÍODO 2009-2017**



Fuente: Yole Développement, Wenbin Ding. *MEMS Everywhere: Making the world a more sensitive place*. CSTIC – Semicon 2013 March, 2013. Shanghai, China.

De acuerdo al analista Lauren Robin de la consultoría Yole Développement, en el período de 2012 a 2017 los MEMS se estima crecerán a una tasa anual compuesta de 20% en unidades y 13% de crecimiento anual en ingresos para convertirse en un mercado de 21 mil millones de dólares en 2017. Se cree que los MEMS de detección de movimiento

(acelerómetros, giroscopios magnetómetros y sensores combos) representarán aproximadamente 25% y los microfluidos 23%, ambos abarcando casi la mitad del mercado en el año 2017. Mientras que la consultoría IHS iSuppli con un pronóstico más moderado estima que para ese mismo año los ingresos de los MEMS ascenderán a 12.21 mil millones de dólares, un incremento de más del 50% con respecto a 2011. Los cálculos de las respectivas consultorías difieren ampliamente pero hoy en día son los referentes reconocidos globalmente que dan cuenta de la evolución de la industria de los MEMS<sup>151</sup>.

Conforme a información de ambas consultorías pronto se necesitaran nuevas aplicaciones para asegurar el éxito de la tecnología. El impacto de los MEMS podría plenamente florecer con el concepto de “Internet de los objetos” (que se encuentra en etapa incipiente), en el cual todos los objetos son equipados con sensores y conectados a Internet. También el futuro de los MEMS será concucido por la demanda creciente en funciones de detección de movimiento, detección de ubicación y mejor detección acústica. Las soluciones en puerta de esta tecnología por otro lado, se inclinan hacia la integración de múltiples sensores y el mejoramiento del *software* para transformar los datos del sensor en funciones de fácil uso, impulsando a los proveedores de componentes a combinar sensores, módulos y *software* que simplifique el trabajo de integración del sistema. Un indicio de esta tendencia es el crecimiento de los sensores combos entre acelerómetros con magnetómetros o giroscopios utilizados en teléfonos celulares y tabletas (Doe, 2012). El analista de MEMS Eric Mounier de la consultoría *Yole Développement*, estima que el mercado de los sensores combos en 2017 será una oportunidad estimada en 1.7 mil millones de dólares.

---

<sup>151</sup> Probablemente la estimación difiera en las herramientas metodológicas para medir el mercado de MEMS. Así por ejemplo, Yole Développement contabiliza los dispositivos MEMS y sus ingresos desde el embalaje de primer nivel (proceso de empaque que debe proteger la estructura del MEMS, incluyendo los elementos de procesamiento de señales). Para las empresas de MEMS que no publican sus ingresos, calculan las cifras en base a datos por el tamaño del mercado del producto, cuota del mercado, *product teardown* (desmontar un producto para identificar sus componentes y funciones), costo a la inversa (proceso de desmontaje de un dispositivo para identificar la tecnología de fabricación y calcular el costo) y de las encuestas a las empresas. También esta consultoría incluye una visión más amplia de los MEMS ya que contabiliza microfluidos en vidrio, polímeros y silicio, al igual que compases digitales que no son estrictamente MEMS pero cada vez están más integrados con ellos. Otra diferencia entre las dos consultorías son los dispositivos límite en los mercados emergentes de MEMS, por ejemplo, las brújulas electrónicas son contabilizadas por Yole Développement pero no por IHS iSuppli o los microfluidos en sustratos de silicio son contabilizados por ambos pero Yole incluye microfluidos en polímeros y otros sustratos (Doe, 2011; Doe, 2012/a y Johnson, 2010).

### 2.5.1 MEMS en el sector de Electrónica de Consumo/Teléfonos

Este sector ha experimentado un rápido crecimiento motivado por la búsqueda de nuevas funciones y la miniaturización de componentes electrónicos o subsistemas. Los teléfonos celulares (que contienen dispositivos MEMS tales como filtros de radiofrecuencia, sensores inerciales, dispositivos ópticos y micrófonos) y las tabletas son el grupo de productos más representativo de este sector, conformando en 2006 el 25% del mercado, en 2011 el 61% y esperando crecer y abarcar el 71% del mercado en 2015 (véase gráfica 6). El segundo grupo de mayor aplicación de dispositivos MEMS en este sector, son las consolas de videojuego, proyectores independientes y cámaras digitales, que principalmente utilizan sensores de movimiento, acelerómetros para la estabilización de la imagen y control del juego. Además los MEMS tienen presencia en televisores, PMP (*Portable Media Player*)/MP3 reproductores, videocámaras digitales, decodificadores, dispositivos de navegación personal, y otros. Este sector se caracteriza por demandar dispositivos cada vez más pequeños, de bajo consumo de energía y ligeros en peso para ser integrados a productos portátiles. Los requerimientos para la producción de alto volumen ha modificado la infraestructura productiva imponiendo a los fabricantes importantes desafíos en el futuro (Lampo, 2012; Van Heeren y Salomon, 2007; Bouchaud y Dixon, 2011).

El pronóstico de mercado según IHS iSuppli en el sector de los MEMS para la aplicación de electrónica de consumo se espera crezca hasta alcanzar ingresos de 4.5 mil millones de dólares en 2015, los motivos de tal expansión son el incremento de acelerómetros y giroscopios en el auge de teléfonos inteligentes, tabletas de pantalla táctil, así como la introducción de nuevos dispositivos en 2010 y 2011, en especial los giroscopios de tres ejes<sup>152</sup> (*STMicroelectronics*<sup>153</sup> y *Invensense*<sup>154</sup> son las únicas empresas que actualmente

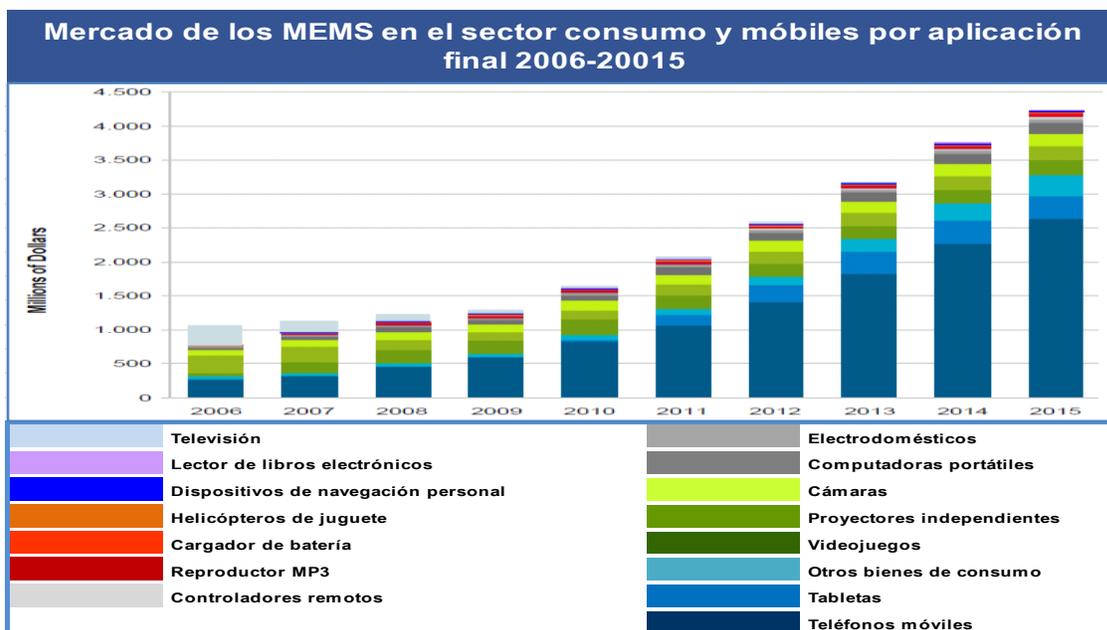
---

<sup>152</sup> El giroscopio de tres ejes, es un MEMS o sensor de movimiento que permite al usuario una percepción de movimiento más real en teléfonos celulares, tabletas, consolas y otros dispositivos inteligentes. Además se utiliza para tareas que calculan la distancia y ubicación de mapas en sistemas avanzados de navegación, así como en video digital (Llorente, 2002).

<sup>153</sup> Es una empresa industrial global, resultado de la fusión de dos empresas, la italiana *Società Generale Semiconduttori* y la francesa *Thomson Semiconducteurs*, que desarrolla, fabrica y comercializa semiconductores, cabezales de impresión de inyección de tinta, MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), decodificadores MPEG y *chips* de tarjetas inteligentes, circuitos integrados para el segmento automotriz, periféricos de ordenador, y *chips* para aplicaciones inalámbricas y móviles (ST Microelectronics, Company Profile).

fabrican estos dispositivos en serie) a pesar del débil panorama económico presentado a mediados del 2011.

**GRÁFICA 6. MERCADOD DE LOS MEMS EN ELECTRÓNICA DE CONSUMO/TELÉFONOS**



Fuente: IHS iSuppli, Minamikawa y Bouchaud. *MEMS entered double digit growth cycle*. 17th International Micromachine Nanotech Symposium Tokyo, July 13th, 2011.

Asimismo el contenido de MEMS en teléfonos inteligentes se ha incrementado cada vez más, encontrándose acelerómetros en más del 80% de estos teléfonos desde 2010, mientras que los giroscopios tuvieron un fuerte inicio con *Apple iPhone* en los últimos cuatro años y están siendo rápidamente adoptados en los teléfonos *Android*. Además se estima que más de la mitad de teléfonos adoptaran micrófonos MEMS en 2015. Hay una clara tendencia hacia la integración de acelerómetros y giroscopios dentro de un sensor combinado causando la erosión del precio, ya que se reduce el costo del embalaje o empaquetamiento y potencialmente se eliminaría una aplicación específica del circuito integrado (Bouchaud y Dixon, 2011). Se especula que para 2015 surgirán nuevas aplicaciones para mantener las altas tasas de crecimiento experimentadas en los últimos años, en forma de monitoreo de

<sup>154</sup> Fundada en 2003, esta empresa tiene su sede en *Sunnyvale* California, es el proveedor líder de dispositivos de seguimiento de movimiento, para productos electrónicos de consumo tales como teléfonos inteligentes, tabletas, dispositivos de juego, televisores inteligentes y sensores portátiles (Invensense, Company Profile).

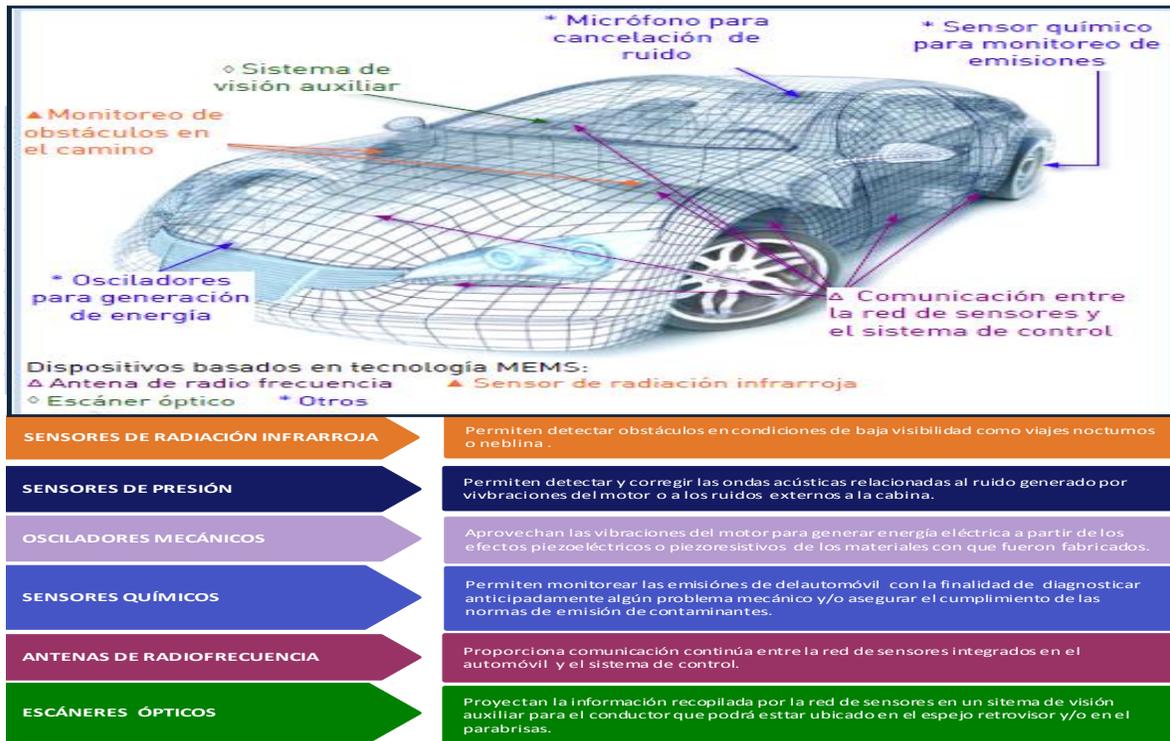
actividad, relojes inteligentes, lentes inteligentes y muchos tipos de dispositivos deportivos inteligentes (Barak, 2012; Bouchaud, 2013).

### **2.5.2 MEMS en el sector Automotriz**

La aplicación de la tecnología MEMS en el sector automotriz fue una de las pioneras con series de producción en masa, constituyendo un mercado en continuo crecimiento que hoy en día, enfrenta nuevas oportunidades y retos, tales como nuevas regulaciones de seguridad o restricciones ambientales, saturación en algunas aplicaciones y erosión de precios, entre otros. El progreso en la compatibilidad productiva con las tecnologías de los circuitos integrados, ha atraído nuevos proveedores que probablemente impactarán en una reducción de precios en los próximos años. Los MEMS se han incorporado a los automóviles para mejorar la ejecución, confortabilidad y aumento de la seguridad, con aplicaciones establecidas y emergentes en el chasis, sistema de propulsión y electrónica de la carrocería. Hoy en día se encuentran en las bolsas de aire, monitoreo de presión de neumáticos, giroscopios de navegación, sensores de flujo (control de motor, toma de aire, presión del refrigerante y aceite, emisiones de partículas/óxidos de nitrógeno), etc. Se estima que de 100 sensores integrados en un automóvil moderno, actualmente 30% son MEMS (véase figura 1) (Van Heeren y Salomon, 2007; Lampo, 2012).

Las condiciones donde los dispositivos MEMS deben funcionar son ambientes extremos, necesitando cumplir con estrictos requerimientos, uno de los cuales es el rango de temperatura establecido de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $85^{\circ}\text{C}$  en los automóviles y de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $120^{\circ}\text{C}$  en aplicaciones bajo el cofre. La fiabilidad y calidad de los productos son indispensables para garantizar la estabilidad de su funcionamiento durante décadas (Lampo, 2012).

**FIGURA 1. APLICACIONES EMERGENTES DE LOS MEMS EN EL SECTOR AUTOMOTRÍZ**

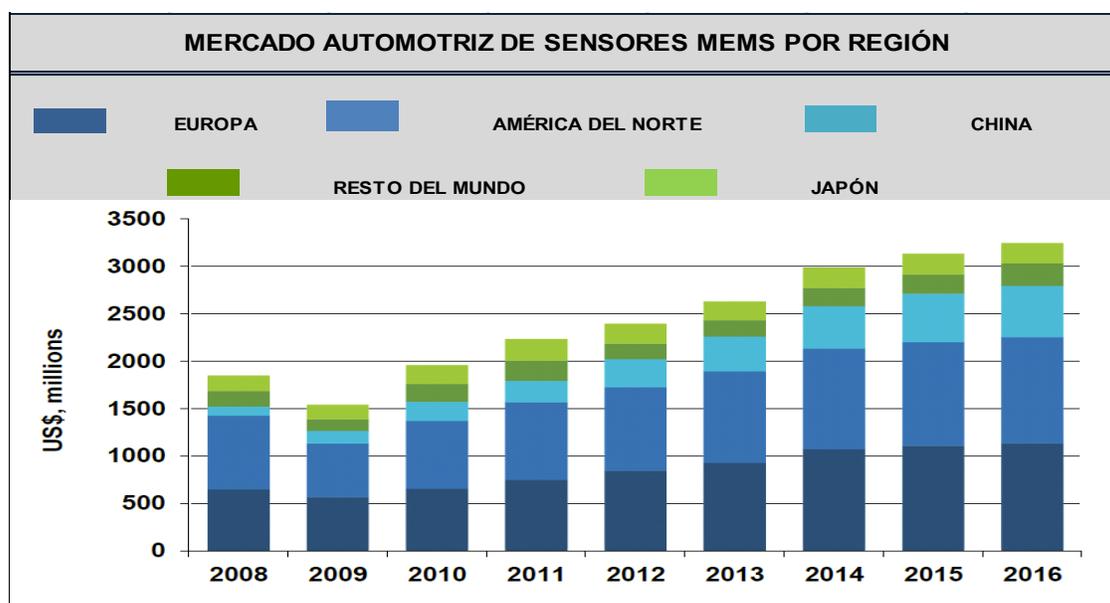


Fuente. Camacho León, Sergio y Losoya Leal Adrián. 2013. Áreas de aplicación; Sector Automotriz. En Introducción a la Simulación de Sistemas Microelectromecánicos y Microfluídicos. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Editorial DIGITAL Tecnológico de Monterrey.

Se espera una sólida recuperación en este sector hacia el año 2016 para alcanzar ingresos estimados en \$3.25 mil millones de dólares (ver gráfica 7), después de un exceso de oferta en una situación de desaceleración en 2011, sin embargo, de acuerdo a la opinión de Richard Dixon analista de MEMS&Sensors en IHS iSuppli, podría presentarse un punto de saturación en el período de 2014-2015 (por el término en el plazo de la adopción de los mandatos en cumplimiento de las nuevas regulaciones de seguridad en la industria automotriz). La penetración de sensores MEMS en este mercado tiene la expectativa de crecer en países como China, Corea del Sur y Japón, debido a las nuevas regulaciones en la industria automotriz, que exige un incremento de seguridad (sistema de control de estabilidad electrónica y sistema de monitoreo de la presión de neumáticos) y la continua presión para reducir las emisiones del automóvil (Dixon, 2011/a; 2011/b). En el período de 2012-2014 la demanda crecerá rápidamente para cumplir con la legislación de seguridad del sistema de control de estabilidad electrónica en Estado Unidos, Unión Europea, Australia, Corea y Japón, asimismo el sistema de monitoreo de la presión de neumáticos en

los autos de nueva producción será obligatorio en Estados Unidos, Unión Europea, Corea y China<sup>155</sup>. La reactivación del mercado de los MEMS en este sector a partir de 2016 se espera sea inducido por nuevas legislaciones o aplicaciones tales como, la detección de volcadura impulsada por la legislación americana para mitigar la expulsión de personas en caso de accidente, filtros para motores de inyección directa de gasolina<sup>156</sup> (*Gasoline Direct Injection*, siglas en inglés) que ayudaría a cumplir las metas de emisión de carbono, los sensores de presión que proporcionan información sobre las condiciones de vacío en el sistema de frenos y acelerómetros para E-call (*Emergencie calls*, siglas en inglés)<sup>157</sup> especialmente para autos de Europa, cuya regulación se espera inicie oficialmente a finales del segundo trimestre de 2015 (Dixon, 2012/a; Dixon, 2012/e).

**GRÁFICA 7. MERCADO DE MEMS EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ POR REGIÓN, PERÍODO 2008-2016**



Fuente: IHS iSuppli-Abstract MEMS&Sensors. Richard Dixon, 2012/d. *Automotive MEMS Market Tracker*.

<sup>155</sup> China ha realizado ajustes en su Programa de Evaluación agregando nuevas normativas para los automóviles, de modo que para alcanzar altas puntuaciones los fabricantes deben equipar a los automóviles por lo menos con dos sistemas: el control de estabilidad electrónica, el monitoreo de la presión de neumáticos, faros delanteros adaptativos, asistente de frenado o control de crucero adaptativo (Dixon y Bouchaud, 2011).

<sup>156</sup> En Europa se introducirá para 2017 una nueva regulación con el objetivo de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> (Bischof, Boger, Gunasekaran, 2012).

<sup>157</sup> Este dispositivo se activa automáticamente en caso de accidente en automóvil, para llamar al punto de acceso de servicio público más cercano, el cual envía los datos al servicio de rescate y así enviar la ambulancia a la localización para salvar a la víctima (Sajin, 2012).

El 91% de los MEMS en el sector automotriz es abastecido por 10 empresas trasnacionales, cuyos ingresos en el 2011 superaron los 2 mil millones de dólares (ver tabla 1). Bosch GmbH *Automotive Electronics* de Alemania encabeza la lista como principal proveedor de sensores para el control de estabilidad electrónica, acelerómetros, giroscopios y sensores de presión, cuyo suministro de MEMS se ha intensificado a causa del rápido crecimiento en la demanda de bolsas de aire y sensores de presión en el mercado chino, junto con la demanda de bolsas de aire frontales y laterales que forman parte de las características estándar de seguridad que se exige en los Estados Unidos (Dixon, 2012/c).

Clasificado en el segundo lugar con una amplia base de clientes, Denso es el mayor proveedor del mercado japonés incluyendo a la empresa transnacional Toyota, abasteciendo principalmente sensores de sistemas de aire acondicionado/ventilación/ calefacción, sensores satelitales para bolsas de aire y sensores de presión para aceite. En tercera posición de la lista de mayores proveedores del sector automotriz de MEMS, se sitúa Panasonic, el cuál es líder indiscutible en los giroscopios de navegación del tablero y segundo proveedor después de Bosch, en giroscopios necesarios para el sistema de control de estabilidad electrónica, estos dos dispositivos se cotizan con el precio más alto en el mercado MEMS para automóviles (Dixon, 2012/c).

**TABLA 1. INGRESOS DE LAS EMPRESAS EN EL MERCADO DE SENSORES MEMS PARA AUTOMÓVILES 2010-2011**

LOS PRIMEROS 10 FABRICANTES DE MEMS POR INGRESOS (MILLONES DE DÓLARES)				
CLASIFICACIÓN	EMPRESAS	INGRESOS 2011	INGRESOS 2010	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL
1	Bosch	\$625	\$524	19%
2	Denso	\$286	\$263	9%
3	Panasonic	\$202	\$181	12%
4	Freescale	\$191	\$190	1%
5	Sensata	\$190	\$153	24%
6	Analog Devices	\$161	\$136	18%
7	Infineon	\$139	\$117	19%
8	VTI	\$103	\$76	36%
9&10	GE Sensing	\$64	\$57	12%
	Delphi	\$64	\$62	3%
	TOTAL	\$2,025	\$1,759	11%

Fuente: IHS iSuppli-Press Release. Richard Dixon, 2012/c. *Bosch Retains Lead as No. 1 Automotive MEMS Supplier.*

La demanda de MEMS en el sector automotriz es abrumadoramente dominada por las regiones de Norteamérica y Europa, sin embargo se espera que China en los próximos años, incremente su consumo estimulado por los normas de seguridad exigidas en los vehículos y las regulaciones en el esfuerzo por reducir las emisiones de carbono<sup>158</sup> (véase gráfica 7). El desarrollo en China de capacidades domésticas en el sector automotriz de MEMS se percibe como crítico, prueba de ello es, la transacción de adquisición que se registró en 2009, de la división de frenos y suspensiones incluyendo la tecnología del sistema para el control de estabilidad electrónica de la empresa Delphi por la empresa china *Beijing West Industries*, consorcio formado por las metalúrgicas Shougang (51%), Tianbao (25%) y el gobierno de Pekín (25%). Incluyéndose también la reciente negociación para la adquisición de una parte de la división de frenos de la empresa Bosch. El analista Richard Dixon de IHS iSuppli, considera que el proteccionismo del gobierno chino bajo un riguroso control sobre los proveedores extranjeros que operan en empresas mixtas, será un factor de peso que marque la pauta en los próximos años para el desarrollo de una cadena de suministro interna.

### **2.5.3 MEMS en el sector Industrial**

Este sector es de bajo volumen y está altamente fragmentado, incluyendo sectores tan dispares que van desde procesos de automatización y control industrial (que tienden hacia la supervisión y control inalámbrico e inteligente), instrumentación hasta aplicaciones en explotación y extracción de gas o petróleo. Las aplicaciones dan cabida a gran número de nichos de mercado, por ejemplo, los giroscopios industriales se emplean para la estabilización de antenas, robótica de precisión, sistemas de control de inventario, herramientas industriales, equipo de fabricación, maquinaria agrícola de precisión, equipo de construcción y otros (Dixon, 2011/b). Con el fin de tener una idea más clara de su diversidad, se presenta en el cuadro 3 una esquematización general del conjunto de aplicaciones de dispositivos MEMS en este segmento.

---

<sup>158</sup> En los vehículos las unidades de control electrónico modernas, equipadas con diversos sensores, permiten que los motores de inyección sean más potentes y económicos, emitiendo menor volumen de gases que los antiguos motores. Su uso de impulsa en el caso de los sensores del tren de potencia, que miden la presión y flujo en el circuito de control de la combustión de motor, reduciendo las emisiones (Márquez y Cárdenas, 2006).

CUADRO 3

<b>APLICACIONES DE MEMS EN EL SEGMENTO INDUSTRIAL</b>	
<b>SUBSEGMENTOS</b>	
<b>FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES</b>	Sensores y actuadores MEMS para prueba de semiconductores, micro-espejos para litografía sin máscara...
<b>AUTOMATIZACIÓN DE EDIFICIOS</b>	Sensores y actuadores MEMS para mejor eficiencia en calefacción, ventilación y aire acondicionado, sistemas de refrigeración, detector de infrarrojos para seguridad...
<b>PRUEBAS Y MEDICIONES</b>	Instrumentación portátil (cámaras infrarrojas, detectores químicos y de gas, lectores de códigos de barra), sensores y actuadores de identificación de radiofrecuencia...)
<b>ENERGÍA Y POTENCIA</b>	Sensores para exploración y explotación de petróleo y gas, detectores infrarrojos para fugas de energía en los edificios...
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA FABRICACIÓN</b>	Sensores para el control continuo de procesos industriales, sistemas de vigilancia...
<b>AGRICULTURA Y CONSTRUCCIÓN</b>	Sensores para la agricultura de precisión, sensores para excavadoras y grúas...
<b>MARINA</b>	Sensores para el control de varios tanques, medidores, aceite de motor, gasolina, varios hidráulicos...
<b>OTROS</b>	Impresión industrial, aplicaciones de control diverso, dosificadores de bebidas, pruebas de impacto, plataformas de estabilización, control de estructuras, seguimiento logístico...

Fuente: Los MEMS en el segmento industrial y los diversos nichos de mercado (Dixon, 2010).

De acuerdo a información proporcionada por Rene Meister, director general de *Frankfurt Partners*<sup>159</sup>, cientos de empresas conforman el contingente de este sector y la mayoría de las empresas poseen menos del 1% del mercado (Solid State Technology, 2011). Los procesos de control industrial en bebidas y alimentos, industria de semiconductores y mediciones inteligentes son aplicaciones que constituyen oportunidades de mercado de más de 100 millones de dólares cada una, mientras que las demás aplicaciones generan ingresos debajo de este valor. Las proyecciones más inmediatas estiman que los MEMS en el sector

<sup>159</sup> *Frankfurt Partners* es una empresa alemana que asesora a pequeñas y medianas empresas, ofreciendo servicios de consultoría de negocios, estrategia, organización, fusiones y adquisiciones, y casos de insolvencia (Frankfurt Partners- Business Consulting).

industrial<sup>160</sup> casi duplicarán los ingresos de su mercado en 1.2 mil millones de dólares en 2014 en comparación a los ingresos recaudados en 2009 cuyo monto fue de 519 millones (Dixon, 2010; Dixon y Bouchaud, 2011/b).

#### **2.5.4 MEMS en el sector Telecomunicaciones**

Es un sector de bajo volumen con crecimiento moderado siendo su principal aplicación la comunicación óptica, que surgió como medio óptimo<sup>161</sup> para dirigir el escalamiento de la red a causa del incremento del tráfico de datos, en parte por el incremento del uso de internet. Los MEMS en el ámbito de telecomunicaciones han aportado grandes ventajas como su pequeño tamaño, bajo costo, bajo consumo de energía, durabilidad mecánica, alta precisión y alta densidad de conmutación (Van Heeren y Salomon, 2007).

Los MEMS ópticos o MOEMS (siglas en inglés) son resultado de la convergencia de computación y procesamiento de información con fotónica, interactúan con las ondas de luz para dirigirla, reflejarla, filtrarla o amplificarla por lo general a través de micro espejos que redirigen la luz mediante el control de la posición y de la inclinación de los mismos, o rejillas a nano escala que alteran la refracción de la luz. Las aplicaciones de los MEMS ópticos usualmente se dividen en:

- Comunicaciones de red, que comprenden una variedad de componentes: interruptores ópticos, plataformas automatizadas de gestión de fibra, atenuadores ópticos variables (VOAs, siglas en inglés)<sup>162</sup> y multiplexores ópticos reconfigurables (ROADMs, siglas en inglés) que son utilizados para ejecutar varias funciones, incluyendo redirigir, reflexionar y atenuar la luz (Coombe, 2006).

---

<sup>160</sup> La consultoría IHS iSuppli cataloga a este sector junto a los sectores médico, aeroespacial civil y militar, y telecomunicaciones, como mercados de alto valor caracterizados por sus elevados precios de ventas en comparación con otros sectores.

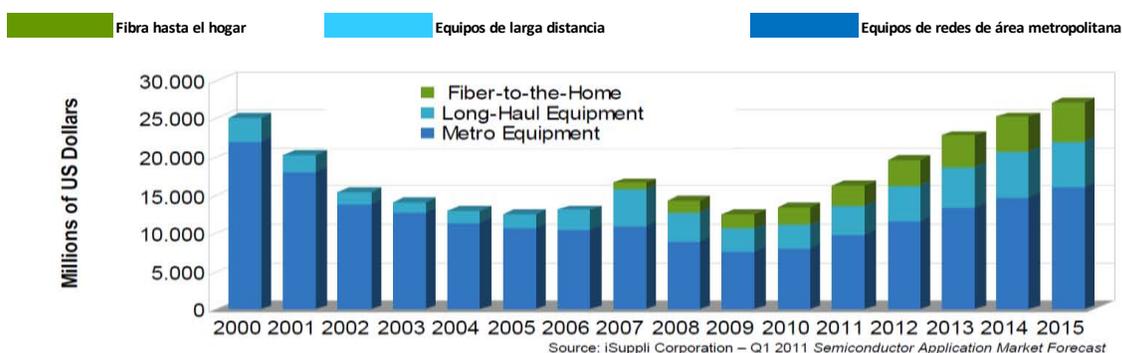
<sup>161</sup> Dado que la luz puede transmitir información más rápido y con mayor densidad de electrones, las comunicaciones de fibra óptica se han convertido en el método preferido de transmisión de datos y voz a larga distancia (*BLA MEMS Industry, Report 2010*).

<sup>162</sup> Son componente que se emplean para regular los niveles de potencia óptica y prevenir sobrecalentamientos (Bouchaud, 2011).

- Sensores tales como el escáner de código de barra y sensores térmicos infrarrojos introducidos en el año 2000, están en auge debido al atractivo costo y al aumento del negocio de la seguridad.
- Sistemas de visualización de imagen tales como pantallas de visión directa y pantallas de proyección; tecnología de visualización de escaneo de retina y pico-proyección (proyector de formato pequeño que puede ser utilizado como proyector independiente o integrarse en los dispositivos móviles). *Digital Light Projection* fue la primera tecnología de visualización desarrollada por *Texas Instruments* con el componente MEMS *digital micromirror device* ampliamente utilizado en los proyectores portátiles, televisores de pantalla grande y salas de cine digital. Hasta ahora el micro espejo digital ha logrado un alto grado de sofisticación en un *chip* de bajo costo con aproximadamente el 50% de la participación del mercado mundial en todos los sistemas de proyección (Lampo, 2012; Van Heeren y Salomon, 2007).

A finales de los años 90 se adoptaron los interruptores MEMS ópticos en la industria de telecomunicaciones, para controlar las señales enviadas a través de las fibras ópticas. Se creó mucha expectación porque incrementaba la eficiencia y velocidad de la transferencia de datos. La ventaja de las fibras ópticas e interruptores es que experimentan muy poca pérdida de señal, lo cual significa que fluyen más datos por segundo y no requieren de la conversión de la señal óptica en señal eléctrica, lo cual en última instancia implica un menor costo (Robson, 2006/2007).

**GRÁFICA 8. LOS INGRESOS DE EQUIPOS DE REDES DE TELECOMUNICACIÓN ÓPTICA DESPEGAN EN 2010**

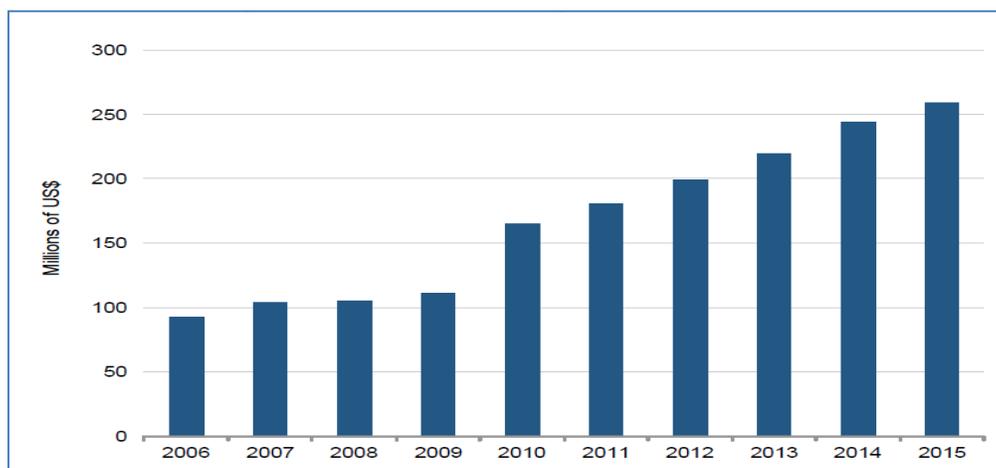


Fuente: IHS iSuppli. Jérémie Bouchaud. *High Value MEMS market overview*. Ponencia en DTIP, Marseilles, May 12th 2011.

Durante la burbuja de internet muchos operadores de servicios invirtieron en infraestructura y equipo creando un exceso de capacidad. Tras más de una década del colapso de la burbuja de internet en 2000-2001, la expansión del uso de internet ha suscitado nuevamente el resurgimiento de las redes ópticas. El tráfico global de internet se ha multiplicado a una tasa de crecimiento anual compuesta entre 45 y 50%, por lo que se calcula que el consumo del equipo de redes de telecomunicación óptica alcanzará en 2015 ingresos similares a los niveles del año 2000 cuando se acumularon ingresos de 24.95 mil millones de dólares (véase gráfica 8).

Los factores impulsores detrás del crecimiento de internet han sido: la explosión del tráfico de video de banda ancha, el incremento de redes para compartir archivos, la implementación de la banda ancha en China y el despliegue de fibra en el hogar (servicios en soporte para la difusión de servicios de telefonía, internet de banda ancha y televisión). Otro elemento que ha ayudado a promover el crecimiento ha sido la puesta en marcha de proyectos de sistemas de cable submarino. En el caso de China para apoyar la infraestructura de fibra óptica, se ha adoptado un programa de incentivos fiscales y subsidios financieros para equipos domésticos de banda ancha, *chips* ópticos y fabricantes de módulos ópticos (Ratliff, 2010). A nivel mundial los ingresos previstos de los MEMS ópticos para 2015 sólo por concepto de la demanda de componentes en el equipo de la red óptica, se estiman sobrepasarán los 250 millones de dólares (véase gráfica 9).

**GRÁFICA 9. MEMS ÓPTICOS EN EL MERCADO DE FIBRA ÓPTICA**



Fuente: IHS iSuppli. Jérémie Bouchaud. *High Value MEMS market overview*. Ponencia en DTIP, Marseilles, May 12th 2011.

El mercado total de los MEMS ópticos ha recaudado ingresos alrededor de 211.8 millones de dólares en 2011, un 24.7% más que el año anterior cuando se reportaron ingresos de 169.9 millones de dólares. La predicción de la consultoría IHS iSuppli acerca de la tasa de crecimiento en el período 2010-2015 de los MEMS ópticos en el segmento de telecomunicaciones se sitúa en 20.5% (Bouchaud, 2011/a).

Por otro lado, con una expectativa mucho más promisorio, la consultoría Yole Développement pronostica que los ingresos hacia el año 2017 de los MEMS ópticos serán de 2.6 mil millones de dólares, siendo el mercado de proyección el principal motor del segmento de telecomunicaciones, con un progreso sobresaliente de los pico proyectores (que han sido probados en los prototipos de teléfonos celulares) y la vigencia dominante de la tecnología *Digital Light Projection* (Mounier y Robin, 2012).

### **2.5.5 MEMS en el sector Aeroespacial/ Militar**

El sector aeroespacial y militar de los MEMS es de bajo volumen y se considera dentro del rango de dispositivos de alto valor puesto que los precios promedio de venta son mayores que otros segmentos. Los precios de estos dispositivos en un paquete de primer nivel<sup>163</sup> alcanzan unos pocos cientos hasta rebasar los mil dólares dependiendo de los requerimientos. Los difíciles entornos donde los MEMS se desempeñan deben resistir alta vibración, impactos y aceleración de la fuerza gravitacional, temperaturas extremas y alta presión en rangos de bajo vacío, características que deben ejecutarse con alta precisión, desviación mínima y estabilidad a largo plazo. Las principales aplicaciones de los MEMS en el sector aeroespacial/militar abarcan desde la medición de datos del sistema de aire en aeronaves comerciales y militares, sistemas de control ambiental/medición de la presión en cabina de aeronaves comerciales, sistemas de control del motor de turbina, aplicaciones hidráulicas en aeronaves comerciales y militares, fuselaje, prueba de vuelos, monitoreo estructural, máscaras para oxígeno, puertas y sistemas de monitoreo de presión de los neumáticos, sensores inerciales para guía de misiles y proyectiles, bolómetros (instrumento

---

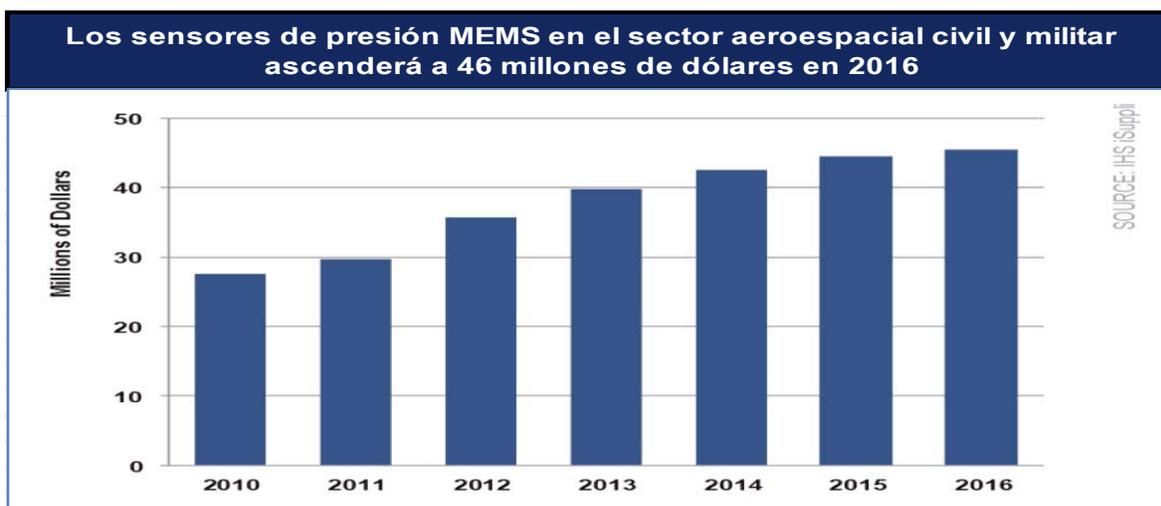
<sup>163</sup> El paquete de primer nivel de los MEMS es un paso decisivo en la cadena de fabricación del producto final. El MEMS es integrado dentro de un paquete que protege la estructura del MEMS, incluyendo los elementos de procesamiento de la señal (Kempe, 2011).

utilizado para medir la radiación emitida por un objeto), etc. (Dixon, 2012). La cadena de suministro de este segmento es relativamente pequeña constando únicamente de diez proveedores que ofrecen diferentes niveles de integración, como Honeywell (fabrica sensores o sistemas completos), MEMSCAP (sensores para los datos del aire y cabina), Kulite Semiconductor Products (especialista en dispositivos para ambientes extremos como el motor), Eaton Corporation (probablemente compra MEMS integrándolos a los transductores de presión y también hace subsistemas), GE Druck, Endevco, etc. (Bouchaud y Dixon, 2011).

La continúa crisis global y la restricción en los presupuestos de defensa de Estados Unidos y Europa, han inducido a disminuir, posponer o dar por terminados programas aeroespaciales y militares, previéndose para 2015 un recorte en conjunto de las dos regiones mencionadas de 100 mil millones de dólares. Aparentemente estos factores seguramente afectarán la expansión de este sector pero pudiera a largo plazo influir en el desarrollo de ciertos sistemas de armamentos (aviones no tripulados, vigilancia y de reconocimiento), debido al cambio de estrategia del gobierno de Estados Unidos que se inclina por una fuerza armada más pequeña pero más inteligente. Por otra parte, hay un despliegue en recuperación desde el 2011 de la aviación civil a causa de la fuerte demanda de la corporación industrial *European Aeronautic Defence and Space Company N.V.* para mejorar la eficiencia del *Airbus 320* y de Estados Unidos por el *Boeing 787*, avión de pasajeros hecho de compuestos de carbono. De acuerdo a la opinión de Richard Dixon, analista de IHS iSuppli, el crecimiento de los MEMS se percibe firme en el sector aeroespacial y militar porque muy pocos dispositivos pueden operar en el entorno extremo en que se utilizan los sensores, de los cuales se calcula que entre 30 y 40% son dispositivos MEMS.

Los ingresos en perspectiva para este sector en 2012 eran de 36 millones de dólares, con base al pronóstico de una tasa de crecimiento anual compuesta de 8.6%, se espera recabar ingresos de 46 millones de dólares en 2016, como se muestra en la gráfica 10 (Dixon, 2012).

**GRÁFICA 10. INGRESOS DE SENSORES DE PRESIÓN MEMS EN APLICACIONES AEROESPACIALES Y MILITARES**



Fuente: IHS iSuppli. Richard Dixon, 2012/b. *Applications for MEMS Pressure Sensing in Military and Aerospace*. Market Brief/Volume 5, Issue 9.

### 2.5.6 MEMS en el sector Médico

En este sector relativamente nuevo se perfila un mercado de gran potencial que demanda la miniaturización y bajo costo de dispositivos con ejecución de funciones rápidas en diagnóstico así como tratamiento personalizado. La tecnología de los BioMEMS ha sido impulsada en parte por el financiamiento de *US Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) para el desarrollo de dispositivos médicos portátiles en aplicaciones militares. Además, la participación de la tecnología MEMS en el sector salud se ha incrementado a medida que surgen nuevas aplicaciones ofreciendo alternativas básicamente en cuatro nichos: farmacéutico, diagnóstico in-vitro<sup>164</sup>, dispositivos médicos y cuidado médico en casa. Los nichos de mercado contienen su propia dinámica, con determinados actores y factores globales, atribuyéndose su penetración o aceptación a diferentes circunstancias, de modo que en el mercado farmacéutico se consideran la sensibilidad y limitaciones en la automatización; en el mercado de diagnóstico in vitro se centran en la portabilidad y bajo costo; en el mercado de dispositivos médicos se enfocan en la anexión

<sup>164</sup> Conjunto de fenómenos observados en el laboratorio a partir de productos biológicos vivos. Método para mantener en vida diversos organismos vivos (células, espermatozoides, óvulos, virus, etc.) (Doctissimo, Diccionario médico).

de funciones; y por último, el mercado de cuidado en casa depende de los sistemas de seguridad y conectividad (Yole Développement).

Las grandes empresas del sector médico han impulsado de forma indirecta en la optimización de productos para el paciente, consolidándose la tecnología MEMS en una ventaja competitiva para los fabricantes de sistemas, un ejemplo, es el uso de acelerómetros en los marcapasos que ha revolucionado el tratamiento de enfermedades cardíacas (Roussel, 2013; Yole Développement). Sin embargo, algunas restricciones como el alto costo de desarrollo, retos regulatorios y la necesidad en el mercado de productos rentables de alta calidad son impedimentos al crecimiento del mismo (Lampo, 2012). Existe una gran variedad de dispositivos en este sector, presentándose en el cuadro 4 una sistematización de las diversas aplicaciones.

**CUADRO 4**

<b>APLICACIONES DE MEMS EN EL SEGMENTO MÉDICO</b>	
<b>SENSORES DE PRESIÓN</b>	Presión de la sangre, sensores implantables, monitoreo de desordenes respiratorios, diálisis de riñón...
<b>MICRÓFONOS DE SILICIO</b>	Audífonos...
<b>ACELERÓMETROS</b>	Acelerómetros para marcapasos...
<b>GIROSCÓPIOS</b>	Análisis del movimiento humano...
<b>MEMS ÓPTICOS Y SENSORES DE IMÁNES</b>	Micro-espectrómetros, Monitor virtual de retina ( <i>Head Mounted Display</i> ), Endoscopios, Píldoras que contienen una cámara de video, Imágenes de Rayos-X...
<b>CHIPS DE MICROFLUIDOS</b>	Investigación farmacéutica y ciencias de la vida, Diagnóstico clínico y veterinario, Pruebas cerca del paciente ( <i>Point of care</i> ), Pruebas industriales y medioambientales, Dispositivos de análisis (cromatografía líquida de alta eficacia, prueba de multi esclerosis, etc)...
<b>MICRO DOSIFICADOR</b>	Inhaladores, micro-bombas, micro-agujas...
<b>MEDICIÓN DE FLUJO</b>	Medición de flujo para diagnóstico...
<b>SENSORES DE TEMPERATURA</b>	Sensores de temperatura infrarrojos para diagnóstico médico...
<b>MEMS EMERGENTES</b>	Captación de energía ( <i>Harvesting energy</i> ), sensores de tensión, RFID ( <i>Radio Frequency Identification</i> )...

Fuente: Yole Développement. *BIOMEMS Microsystem Device Market for Healthcare Applications (SAMPLE)*. Overview of the technical & economic requirements for Healthcare Applications, February 2013.

A futuro se pronostica una gran oportunidad de crecimiento especialmente en los *chips* de microfluidos, sensores conectados al *smartphone* e implantes de retina. Este último ha formado parte de un proyecto sobre retina artificial desarrollado por la empresa americana *Second Sight Medical Products, Inc.*, con financiamiento de *National Eye Institute* del Departamento de Energía de Estados Unidos y *National Science Foundation*. El dispositivo MEMS conocido como Argus II intenta proveer de estimulación eléctrica a la retina para activar la percepción visual en individuos ciegos, basándose en el trabajo pionero del profesor en oftalmología e ingeniería biomédica Mark S. Humayun de *University of Southern California* y contando con la aprobación desde 2010 de *Food and Drug Administration* (FDA) para la realización de ensayos clínicos (Business Wire).

El mercado mundial de los dispositivos médicos incluyendo los dispositivos de diagnóstico *in vitro*<sup>165</sup> según una valoración de la consultoría Yole Développement en 2010, indicaba que Estados Unidos a nivel mundial es el mayor consumidor de dispositivos médicos abarcado un mercado estimado en 40% y al mismo tiempo, considerado el líder mundial en la fabricación (en los últimos años se ha incrementado la importación de dispositivos médicos provenientes en su mayoría de China, productos que son clasificados de baja tecnología). Europa se posiciona en segundo lugar con un mercado aproximado de 32% a nivel mundial, seguido por Japón con una cuota de 9% y la creciente demanda de China con un 5% (Yole Développement; September 29, 2011). Considerando el panorama anterior, actualmente la contribución de la tecnología MEMS en los dispositivos médicos en 2011 que se presenta en el cuadro 5, en perspectiva es todavía poco significativa, mostrando que los mercados más dinámicos son el de diagnóstico *in vitro* (1.032%) y dispositivos médicos, en específico los dispositivos de microfluidos y biosensores para diagnóstico y aplicaciones farmacéuticas (0.195%), siendo todavía un mercado muy segmentado en términos de proveedores y aplicaciones biológicas.

Sin embargo, conforme al último reporte de Yole Développement sobre los BioMEMS se pronostica un rápido crecimiento progresivo en los próximos cinco años, triplicando casi su

---

<sup>165</sup> *In Vitro Diagnostic* (IVD) son dispositivos médicos utilizados fuera de organismos vivos que incluyen reactivos, pruebas de diagnóstico, instrumentación y otros productos relacionados con las pruebas de laboratorios clínicos y de investigación.

mercado de 1.9 mil millones en 2012 a 6.6 mil millones de dólares en 2018, atribuyéndose un importante papel a las aplicaciones de cuidados móviles (dispositivos en Red que se están desarrollando para la medicina a distancia). Además de otras futuras aplicaciones que se están enfocando en la utilización de estimulación eléctrica, imagen médica, sistemas de liberación de fármacos y sistemas inalámbricos (los cuales adquirirán relevancia en los MEMS de recolección de energía y de RFID, *Radio-frequency identification*). La tasa anual compuesta en el período de 2013 a 2018 se estima crecerá a 24% (véase gráfica 11) (Lampo, 2012).

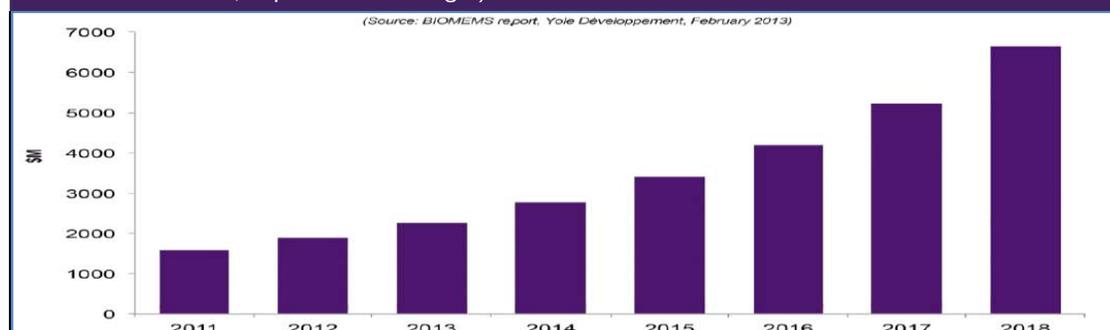
**CUADRO 5. CONTRIBUCIÓN DE LOS MEMS EN EL SECTOR SALUD**

<b>NICHOS DE MERCADO EN EL SECTOR SALUDO Y LA CONTRIBUCIÓN DE LOS MEMS AÑO 2011</b>				
	<b>FARMACÉUTICO</b> (Descubrimiento de medicamentos y comercialización)	<b>DIAGNÓSTICO EN VITRO</b> (Desarrollo de pruebas biológicas y comercialización)	<b>DISPOSITIVOS MÉDICOS</b> (Desarrollo de equipo médico y comercialización)	<b>CUIDADO MÉDICO EN CASA</b> (Dispositivos y servicios médicos prescritos)
<b>MERCADO MUNDIAL</b>	855 MIL MILLONES	65.3 MIL MILLONES	267 MIL MILLONES	69 MIL MILLONES
<b>CONTRIBUCIÓN DE LOS MEMS</b>	317 MILLONES	674 MILLONES	521 MILLONES	52 MILLONES
<b>CONTRIBUCIÓN EN %</b>	0.037	1.032	0.195	0.075

Fuente: Yole Développement. *BIOMEMS Microsystem Device Market for Healthcare Applications (SAMPLE). Overview of the technical & economic requirements for Healthcare Applications*, February 2013.

**GRÁFICA 11. MERCADO DE LOS BIOMEMS**

BioMEMS y microsistemas para el mercado de las ciencias de la vida (millones de dólares) Incluye: sensores de presión, micrófonos de silicio, acelerómetros, giroscopios, MEMS ópticos y sensores de imagen, chips microfluídicos, microdosificadores para el suministro de fármacos, medidores de flujo, sensores de temperatura infrarrojos, MEMS emergentes (RFID-identificadores de radiofrecuencia, sensores de tensión, captación de energía)



Fuente: Yole Développement, “*The BioMEMS market will almost triple in size over the next five years*”, 2013 Press Release.

## 2.6 La cadena de valor de los MEMS

Estados Unidos, Canadá, Europa y Japón son los líderes en la industria de los MEMS y claramente existe una dominación de Estados Unidos en el desarrollo de esta tecnología, manifiesta principalmente en la propiedad intelectual, regulaciones<sup>166</sup>, libre flujo de fabricación y empresas líderes posicionadas a lo largo de la cadena de valor. En este país la universidad es un promotor activo de la innovación, con un ambiente de negocios propicio y una creciente inversión financiada por agencias gubernamentales tales como el Instituto Nacional de Salud, la NASA, el Departamento de Defensa (*Defense Advanced Research Projects Agency*) y Departamento de Energía (*Advanced Research Projects Agency-Energy*), por lo cual inicialmente el interés industrial se centró en aplicaciones médicas y aeroespaciales (Knutti y Allen; 2004). Una institución pionera en los microsistemas desde 1960 es *Sandia National Laboratories* (SNL), centro de investigación y desarrollo financiado con fondos federales, que trabaja como contratista para la Administración de Seguridad Nuclear del Departamento de Energía de Estados Unidos (*U.S. Department of Energy's National Nuclear Security Administration*). *Sandia National Laboratories* crea innovaciones basadas en la ciencia y en soluciones de ingeniería con la misión de enfrentar los retos que implica la seguridad nacional<sup>167</sup>. En su amplio espectro de líneas de investigación, *Sandia National Laboratories* concentra sus esfuerzos en determinadas áreas técnicas, entre ellas los nanodispositivos y microsistemas<sup>168</sup>. Este interés procede del desarrollo intensivo de circuitos integrados utilizados en la plataforma de seguridad, incorporando sensores a micro escala, fotónica<sup>169</sup> y sistemas micro electromecánicos

---

<sup>166</sup> Instituciones norteamericanas van a la vanguardia en términos de regulación, por ejemplo, *National Highway Traffic Safety Association* (NHTSA), es responsable de las regulaciones de seguridad en la industria automotriz, cuyas pautas impactan al mercado global de autos.

<sup>167</sup> En la página *web* de esta institución, se enfatiza que la aplicación de los avances científicos y de ingeniería han tenido como objetivo desde la guerra fría, ayudar a su nación y aliados a “detectar, repeler, vencer o mitigar amenazas de seguridad nacional” de variada naturaleza ya sea nuclear, que involucre armas químicas y biológicas de destrucción masiva u otros actos de terrorismo. En seguimiento de la política disuasoria para proteger y defender a los Estados Unidos, se contemplan de igual forma como temas claves de investigación la seguridad energética, seguridad climática y capacidades de apoyo (investigación básica en ciencias físicas que abarca tópicos desde energía de fusión, gestión del carbón, hidrógeno, biocombustibles, etc.).

<sup>168</sup> Las otras áreas son: biociencia, computación y ciencia de la información, ciencia de la ingeniería, geociencia, ciencia de los materiales, efectos de radiación y ciencia de la energía de alta densidad.

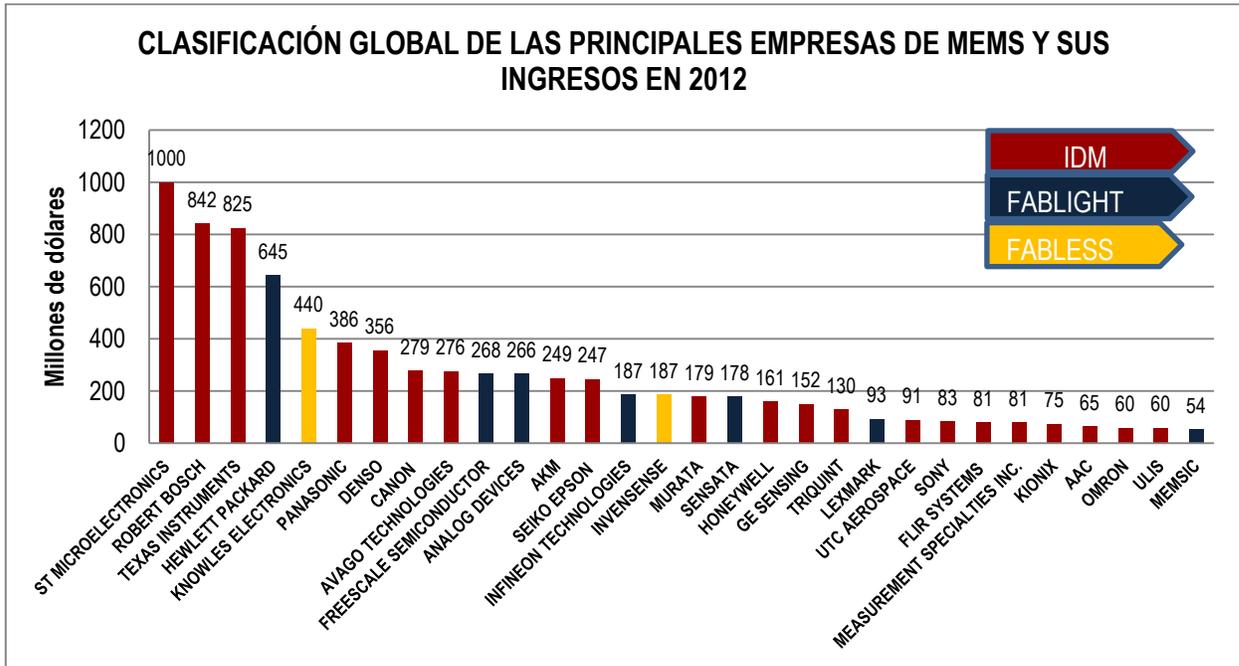
<sup>169</sup> La fotónica funciona con corrientes de partículas luminosas conocidas como fotones. En la actualidad las aplicaciones mas destacas se encuentran en los lectores de códigos de barras, punteros laser, pantallas LCD, etc. (Arizmendi, 2010).

(MEMS). En su Departamento de Tecnología MEMS se conduce investigación en desarrollo de materiales, equipo y diseño de productos, tecnologías de fabricación, tecnologías avanzadas de empaquetamiento, análisis de fallas y lanzamiento de productos en ambientes extremos. Al otro lado del Atlántico, conforme a información de Richard Dixon analista de MEMS&Sensores en IHS iSuppli, las cuatro regiones más grandes de micro y nano electrónica en Europa conjuntarán sus esfuerzos para constituir el *cluster* transnacional “*Silicon Europe. The Leaders in Energy Efficient ICT Electronics*”. Los participantes son: *Silicon Saxony* (Dresden/Alemania), *DSP Valley* (Bélgica), *Minalogic* (Grenoble/Francia) y *Point One* (Eindhoven/Holanda). Este grupo representa colectivamente a 800 institutos de investigación y empresas (*Phillips, NXP, Infineon, STMicroelectronics, Schneider Electric* y *Thales*), cuya meta es fortalecer la investigación europea en MEMS y nano electrónica, conformando un frente común en respuesta a la declinación en términos comparativos de inversión a las regiones de Asia. Mientras que Japón tiene una larga tradición de investigación y desarrollo de MEMS desde 1991 con el Proyecto Tecnológico de Micromáquinas, que a través de su fundación *Micromachine Center* ha supervisado su ejecución en los proyectos de I&D, estandarización, promoción en la industria, y otros (*Micromachine Center website*).

De acuerdo a la consultoría francesa Yole Développement dedicada al análisis de mercado en los sectores tecnológicos, la generación del 75% de los ingresos globales en la industria de los MEMS en 2012 se atribuye principalmente a 30 empresas (ver gráfica 12) y el restante 25% es fruto de la contribución de más de 300 empresas. Los cuatro fabricantes más importantes de dispositivos MEMS: *Texas Instruments, ST Microelectronics, Hewlett Packard* y *Robert Bosch* han tenido ventas aproximadas de 3.3 mil millones de dólares, dando cuenta en conjunto de casi la tercera parte de las ventas totales de dispositivos MEMS. *Bosch* con su principal negocio en el sector automotriz y *St Microelectronics* obteniendo su principal ingreso de los dispositivos móviles, son los fabricantes más importantes de acelerómetros en el segmento de electrónica de consumo. Al mismo tiempo, *Knowles Electronics* creció 20% en sus ingresos de micrófonos MEMS para situarse en el quinto lugar de la clasificación. Mientras que las empresas *Panasonic* y *Denso* se colocan en el sexto y séptimo lugar de la clasificación con ventas en gran medida gracias a sus

ventas en el mercado automotriz. Y por primera vez el proveedor chino de micrófonos AAC se incorpora a la lista de las 30 principales empresas de MEMS, convirtiéndose en el segundo proveedor del iPhone<sup>170</sup> (Doe, 2012; Yole Développement).

**GRÁFICA 12. LAS PRINCIPALES EMPRESAS DE MEMS Y SUS MODELOS DE NEGOCIOS**



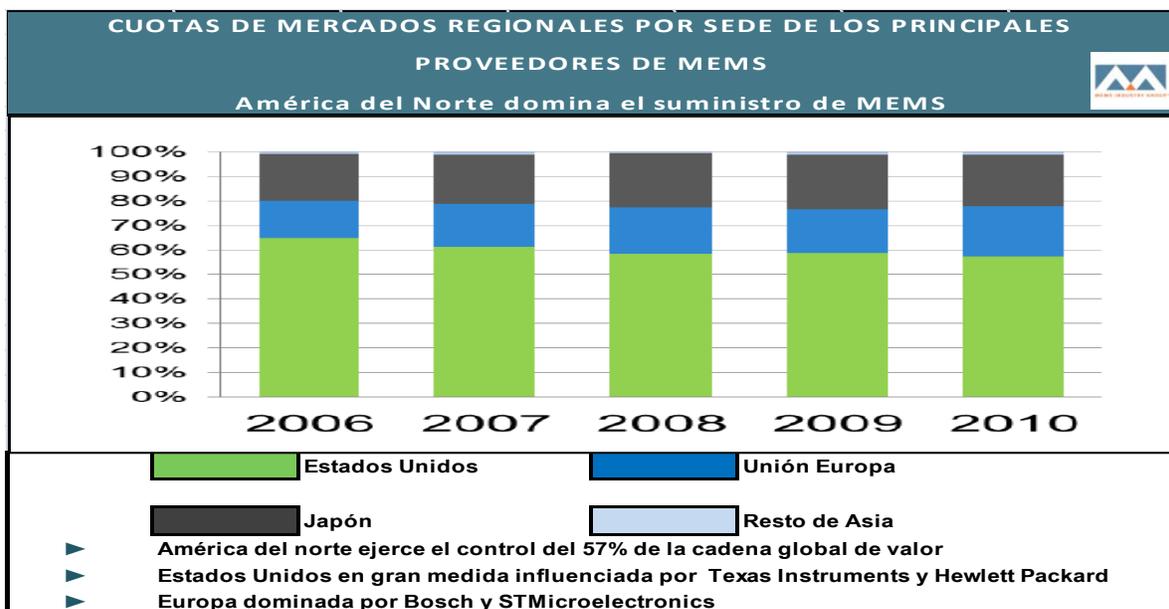
Fuente: Yole Développement For Immediate Release: *Top 30 MEMS companies: STMicroelectronics and Robert Bosch rise to top of Yole Développement's annual ranking.* April 12, 2013.

A partir del análisis regional sobre la participación de las principales empresas globales en el mercado de los MEMS, se destaca que la región de Norteamérica ha dominado la cadena de valor de los MEMS pasando a controlar en 2006 aproximadamente el 65% y abarcando el 57% en 2010 (ver grafica 13), su liderazgo es sostenido por las empresas *Texas Instruments* y *Hewlett Packard*. Mientras que las empresas *ST Microelectronics* y *Robert Bosch* han asegurado el segundo puesto para la región de Europa en la cadena de valor de

<sup>170</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 gamma 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. La empresa china AAC junto con la empresa alemana 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/c).

los MEMS. En orden de importancia, les sigue las empresas japonesas *Canon*, *Panasonic*, *Epson* y *Denso* clasificadas dentro de las principales 30 empresas globales de MEMS. La consultoría IHS iSuppli calcula que el 32.5% del valor de los MEMS en 2010 fueron procesados ya sea en parte o en su totalidad en las instalaciones de Japón, incluyendo en su contabilización de ingresos tanto a empresas japonesas de MEMS así como a empresas extranjeras (*Freescale Semiconductor*, *Knowles Electronics*, *Goodrich Corp.* y *Texas Instruments Inc.*) que han procesado dispositivos MEMS en este país (Bouchaud, 2011/b).

**GRÁFICA 13. PARTICIPACIÓN POR REGIÓN EN LA CADENA DE VALOR DE LOS MEMS**



Fuente: MEMS Industry Group. Yoshio Sekiguchi (*Senior General Manager Micro Devices H.Q., OMRON Corporation*). *MEMS in the Mainstream: Introduction to MEMS Industry Group and the U.S. MEMS Industry*. Presentación en International Micromachine/Nanotech Symposium July 11, 2012.

La mayoría de las 30 empresas de MEMS más importantes son empresas de fabricación integrada (*Integrated Device Manufacturing*) o IDM<sup>171</sup> que empiezan a ofrecer servicios de *foundry*, otras tienden a convertirse en *fab-light*, así por ejemplo, *Freescale*, *Hewlett Packard*, *Analog Device*, *Lexmark*, *Infineon* o *VTI Technologies*<sup>172</sup> subcontratan los procesos de manufactura clave a empresas con mejores plantas de fabricación por razones de costo o infraestructura, o para subcontratar partes específicas del proceso, teniendo

<sup>171</sup> Son las empresas que realizan cada paso de la producción de un *chip*, incluyendo diseño, fabricación, prueba y empaque.

<sup>172</sup> Hoy en día pertenece a la empresa japonesa *Murata Electronics Oy* (Murata Manufacturing Co. Ltd.)

sentido ya que aspiran a desarrollar más la parte de investigación. Por otro lado, hay empresas *fabless* muy bien clasificadas entre las que se encuentran *Knowless* e *InvenSense* (esta última ha logrado su entrada al mercado de los MEMS en 2009 gracias al diseño del accesorio de juegos *Nintendo Wii Motion Plus*), las cuales se concentran en el diseño y comercialización (ver gráfica 12) (Bouchaud, 2013/b; Mounier y Robin, 2011).

### **2.6.1 Modelos de empresas MEMS**

Los analistas de la consultoría Yole Développement, Jean Christophe Eloy y Eric Mounier han identificado siete modelos de empresas MEMS, distinguiendo ante todo tres modalidades entre los fabricantes de componentes:

1) Fabricantes por contrato: empresas que van de pequeño a mediano tamaño proponiendo al cliente el desarrollo y fabricación de productos, así como procesos de alto valor agregado para nichos específicos de mercado (un ejemplo de este tipo de empresas son *Colibrys*, *Tronic's*, *Memscap*, *Dalsa Semiconductor* o *Micralyne*). Las oportunidades para los fabricantes por contrato son muy favorables, no obstante las dificultades que entraña todavía la ley MEMS de “Un dispositivo, un proceso”<sup>173</sup>, los problemas del empaque (constituye en promedio el 40% del costo total del dispositivo) y prueba en espera de ser resueltos. Al respecto puede decirse que algunos fabricantes están desarrollando plataformas tecnológicas o procesos estandarizados hechos para el cliente, adaptados a diferentes dispositivos MEMS y se están enfocando en la construcción de plataformas de productos (tales como los sensores de presión o sensores ópticos de acuerdo a las necesidades del cliente). El desarrollo de nuevos dispositivos toma entre 2 a 4 años, y el desarrollo y estabilización de un nuevo proceso requiere de entre 3 a 5 años, por lo que no es de extrañar que este tipo de empresas en su etapa inicial, sean financiadas con apoyo gubernamental. Este tipo de empresas se enfocan particularmente en clientes clave, estableciendo fábricas de fácil adaptación y actualización.

---

<sup>173</sup> Se establece que para cada dispositivo MEMS son necesarias procesos de fabricación y empaquetamiento específicos.

2) *Foundries*: empresas que han abierto instalaciones generalmente para mercados de alto volumen (más de 10,000 obleas de silicio por año). Estas empresas tienden a especializarse en ciertas aplicaciones, desarrollando y produciendo el *chip* del cliente con procesos establecidos sin modificaciones (un ejemplo son las empresas de origen taiwanés *Touch Micro-System Tech* y *Asia Pacific Microsystems*).

3) Fabricantes de productos disponibles para la venta (*off the shelf*) que se enfocan en aplicaciones de gran volumen: automotriz (bolsas de aire, gestión de chasis), *hardware* de computadora (cabezas de impresoras de inyección de tinta) y aplicaciones específicas en campos industriales (dispositivos de medición de presión y aceleración). Algunas de estas empresas están abriendo sus líneas de producción a clientes externos. En este modelo de negocio hay una fuerte participación de empresas de semiconductores capaces de dirigir mercados en crecimiento y de ahí, la posibilidad de fuertes sinergias con productos existentes (ejemplo de este modelo es *Analog Devic*, *STMicroelectronics* o *Freescale*).

Los otros modelos de empresas MEMS identificadas son:

4 y 5) Las casas de diseño e ingeniería (*Lionix*) y empresas *fabless* (*Akustica*, *Discera*, *InvenSense*, *Si Time*, *Sand9*, *Debiotech*, *CardioMEMS*, *Microstaq*, etc.), son dos modelos de empresas que subcontratan los servicios de fabricación de forma externa para proveer de un servicio completo a sus clientes. Por ejemplo, la *fabless* se centra en la propiedad intelectual del dispositivo MEMS en desarrollo transfiriendo la fabricación a la foundry asociada. Este modelo podría fomentar la actividad de diseño en las universidades y *start-ups* con la ventaja de compartir el costo de las instalaciones de fabricación.

6) Fabricantes de sistemas con *foundries* integradas, son empresas que trabajan generalmente como *foundries* para clientes que pertenecen a su grupo. Este modelo de negocio es el que prolifera más en esta industria, contando con plantas propias de fabricación y ocasionalmente trabajando con clientes externos. Particularmente predominan en el sector automotriz (*Bosch*, *Denso*, *Delphi*), en la industria de defensa (*Thalés*, *Boeing*, *Honeywell*) y en el campo de instrumentación (*Olympus*, *Input/Output*). Para los fabricantes

de sistemas con fuerte I&D en MEMS, el interés central es utilizar instalaciones internas existentes para acceder a tecnologías de fabricación clave y aprovechar el valor del sistema, con dispositivos MEMS complejos. Un reto importante es encontrar los socios correctos capaces de fabricar los dispositivos sin incurrir en altos costos de ingeniería. Otro desafío es acceder a una segunda fuente sin pagar por los costos de desarrollo, así como proteger los derechos de propiedad intelectual y el *how-know* hecho con algún proveedor de la competencia. Sin embargo, entraña la dificultad en términos de tiempo e inversión el mantener un sistema de fabricación innovador, ya que no existe la posibilidad de compartir costos de fabricación en mercados diferentes.

7) Los institutos de I&D (*Fraunhofer Gesellschaft, Leti, etc.*) y universidades también 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 mayoría de las empresas más importantes dentro de la industria de los MEMS son fabricantes de dispositivos integrados o IDM con diferentes modalidades de negocios desde *foundry*, fabricantes por contrato, fabricantes de sistemas con *foundries* o fabricantes de productos disponibles para la venta (*off the shelf*) (ver gráfica 12). La comoditización<sup>174</sup> de los MEMS está coaccionando a los fabricantes de dispositivos para reducir los costos, de manera que las empresas se esfuerzan constantemente para 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 para disminuir el tiempo al mercado<sup>175</sup>. Por lo que la tendencia en la industria de

---

<sup>174</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>175</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; March 21, 2013).

los MEMS actualmente se inclina hacia el modelo de negocio *fab-light* donde se subcontrata la fabricación clave o el modelo de negocio *fabless*, con empresas innovadoras emergentes que se apoyan en *fabs o foundries*, las cuales adquieren continuamente gran experiencia en los procesos productivos y de 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; September 22, 2011).

### **2.6.2 Distribución geográfica de la cadena de valor de los MEMS y una valoración aproximada de la contribución de cada segmento en el valor agregado**

La mayor parte de la tecnología MEMS proviene de 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 costos bajos, 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 desarrollan localmente ventajas comparativas de clase 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, tiene la fabricación de componentes MEMS en Canadá, integra los componentes MEMS a las obleas de CMOS fabricadas en Taiwán, ensambla el producto final en China y por último vende el dispositivo MEMS a su cliente líder en Europa (Alton, 2007).

En un desglosamiento geográfico de los modelos de negocios por región estimados por la consultoría Yole Développement, se visualiza a grandes rasgos la cadena de valor de los MEMS en sus segmentos básicos: I&D, diseño y fabricación. Se observa en la gráfica 13, que Estados Unidos y Europa encabezan las actividades de I&D en nuevas aplicaciones de dispositivos MEMS. En definitiva la industria de los MEMS está siendo impulsada por la innovación, el diseño y la creación que ha experimentado un despliegue importante a través

de 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 (*Defense Advanced Research Projects Agency*, *Fraunhofer-Gesellschaft*, *University fabs* como *UC Berkeley*, *Stanford*, *MIT*, y otras). La proliferación del modelo *fabless* o subcontratación de la producción a fabricantes especializados, hace evidente el auge del diseño y desarrollo del producto, siendo las empresas americanas y europeas las que dominan esta modalidad con el 93% de representación. La causa de este auge corresponde al surgimiento de *start-ups* innovadoras que diseñan dispositivos MEMS en vías de comercialización y a estrategias adoptadas por algunos fabricantes de dispositivos integrados<sup>176</sup>, cuya finalidad es reducir costos (por ejemplo, *Hewlett Packard* subcontrata más de la mitad de sus obleas de cabezas de impresión a *STMicroelectronics* o *Knowles Electronics*, líder en micrófonos MEMS que subcontrata la fabricación de sus obleas de MEMS a *Sony Kyushu*, etc.) (Bouchaud, 2011/c).

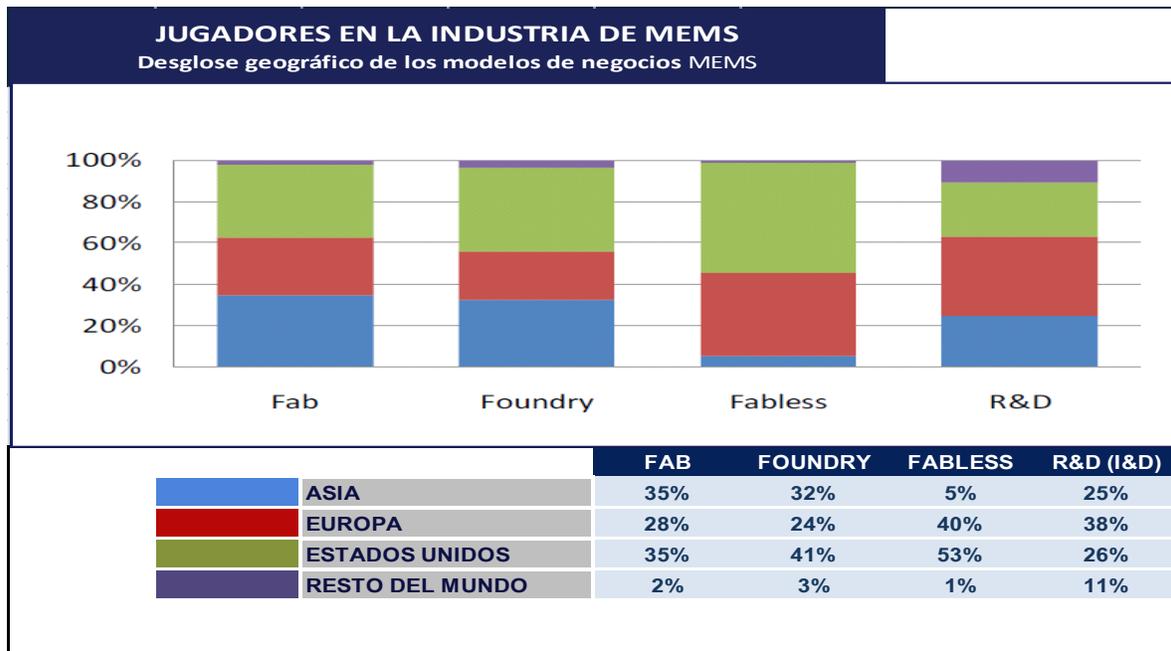
En la fabricación de MEMS, Estados Unidos se sitúa como el mayor fabricante dentro de la cadena global de valor, por su participación con sus respectivos modelos de negocios: *fab* (*semiconductor fabrication plant*) (35%) y *foundry* (41%). Se observa que la tendencia hacia los modelos *fabless* y *fablight* continua ganando terreno, sin embargo, gran parte de la manufactura se está trasladando hacia Singapur, Taiwán y China, tal cual como se constata en la contribución de la región de Asia con 35% en la modalidad *fab* y 32% en la modalidad *foundry*. El aumento en la capacidad de comercialización de los dispositivos MEMS, tiene como uno de sus referentes, el desarrollo del equipo de fabricación específico para MEMS, que por más de 25 años 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

---

<sup>176</sup> Empresas que diseñan y fabrican su producto internamente.

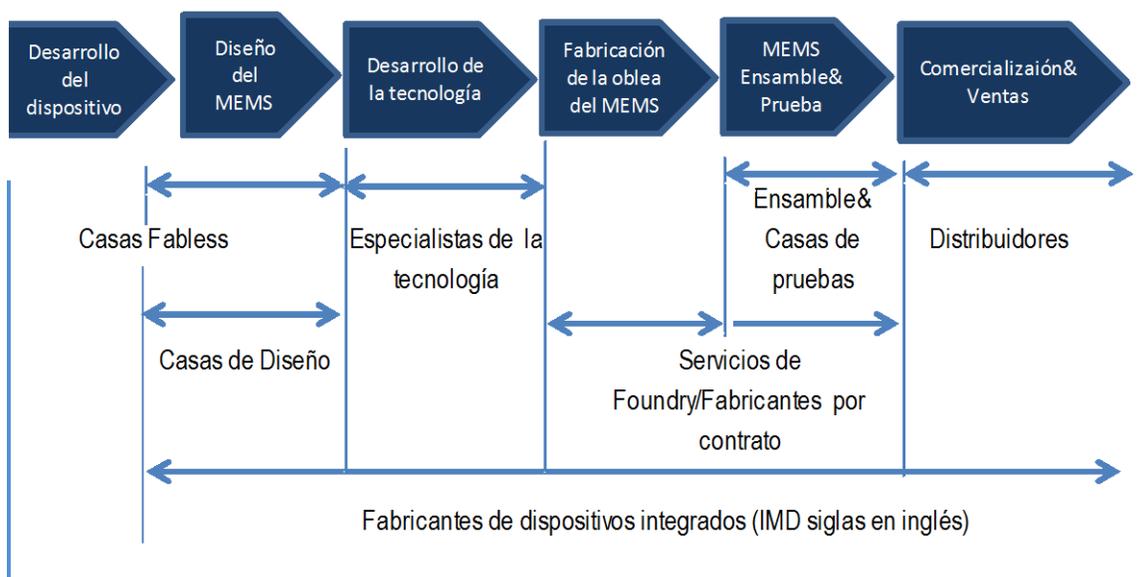
nuevos materiales y procesos, han despertado el interés de empresas tales como *Applied Materials* y *Lam Research* para el desarrollo de equipo específico (Fitzgerald, 2007).

**GRÁFICA 14. DESGLOSE DE LOS MODELOS DE NEGOCIOS POR REGIÓN**



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

**FIGURA 2. MODELOS DE NEGOCIOS A LO LARGO DE LA CADENA DE VALOR**



En la figura 2, se observan los diferentes modelos de negocios clasificados por Jean Christophe Eloy y Eric Mounier de Yole Développement, integrando los diferentes segmentos de la cadena global de valor de los MEMS. Este es un esquema de los pasos básicos para desarrollar un dispositivo MEMS, en una industria cuyos procesos no están estandarizados y reglas de diseño complejas en función de la sensibilidad a múltiples variables (incluyendo patrón de factor de carga, línea de ancho y ubicación en la oblea). Hoy en día, la industria de los MEMS cuenta con una infraestructura más robusta: una cadena de proveedores *foundry*, diseñadores de *software*, proveedores de equipo, proveedores de materiales y proveedores de dispositivos. Actualmente la industria en un estadio más maduro, concentra sus esfuerzos en las debilidades dentro del ciclo diseño-fabricación-prueba, especialmente en la caracterización de materiales (prácticas para estabilizar y controlar la calidad de los materiales) y definición de reglas en el diseño. La etapa del diseño es un proceso iterativo en el cual los diseñadores hacen simulaciones tanto como les sea posible, procesan, prueban y rediseñan hasta converger empíricamente en el diseño original<sup>177</sup>. El elemento clave para la aceleración del proceso de diseño de nuevos dispositivos MEMS, reside en la caracterización o medición constante de las propiedades de los materiales, avance que permitiría a los diseñadores emplear mejor el *software* de simulación<sup>178</sup>. La dificultad radica en que las propiedades mecánicas de los materiales de los MEMS dependen de las condiciones de deposición química y se convierten en recetas valiosas de secreto comercial, por consiguiente, hay una necesidad de protocolos de prueba en común y normas para los datos procedentes de *foundries* (es decir, sobre las propiedades de los materiales en los procesos de fabricación)<sup>179</sup> (Lightman, 2012; Fitzgerald, 2006; Doe, 2010).

---

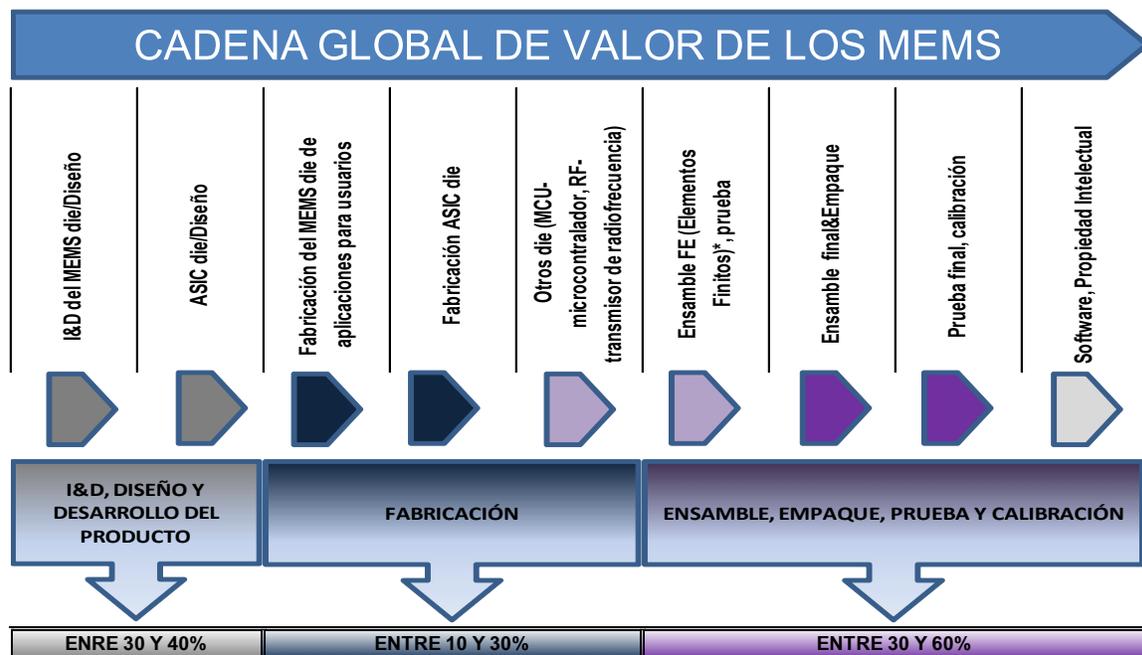
<sup>177</sup> Las propiedades mecánicas de las películas delgadas son muy sensibles a las condiciones de deposición química, así las simulaciones de diseños mecánicos no serán exactas al menos que los materiales trabajados sean caracterizados y monitoreados (Fitzgerald, 2006).

<sup>178</sup> Aún cuando existen las herramientas de diseño automático electrónico específicas para MEMS no se provee la simulación de extremo a extremo. La dificultad de esto tiene su origen en la naturaleza mecánica de los MEMS, cuya arquitectura tridimensional dicta procesos tales para ángulos de las paredes laterales o que la aspereza de la superficie puede tener profundo impacto en la ejecución del dispositivo (Fitzgerald, 2006).

<sup>179</sup> El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos está trabajando con la comunidad de MEMS hacia métodos de medición estándar de ocho parámetros clave: la validación de las medidas en la industria norteamericana; comparaciones significativas de los parámetros medidos por los diferentes instrumentos, diferentes laboratorios o diferentes empresas; la caracterización de los procesos de resolución de problemas; calibrar los instrumentos; y la comunicación entre los socios (Doe, 2012/b).

La estimación del valor agregado o aportación de cada segmento a la cadena global de valor de los MEMS, se encuentra sesgada debido a la escasa información disponible, por lo que la cadena de valor abarca únicamente, como se presenta en la figura 3, los siguientes segmentos: I&D, diseño y desarrollo del producto; fabricación; y ensamble, empaque, prueba y calibración.

**FIGURA 3. ESQUEMA DETALLADO DE LA CADENA DE VALOR DE UN MEMS**



Fuente: Yole Développement. *The growth of the MEMS Market*. En SEMI Networking Day Italy, 20 Sept. 2012. \*Finite Elements (FE) es una herramienta de simulación.

Los MEMS es una tecnología de componentes y forman parte de un sistema o producto final, cuya innovación toma un lapso en promedio de 5 años desde el proceso de I&D hasta la primera producción con una inversión aproximada de diez millones de dólares (los pioneros en MEMS desarrollaban dispositivos al menos en 10 años invirtiendo más de cien millones de dólares). La duración de este proceso es frecuente para un dispositivo MEMS en el mercado militar, aeroespacial o automotriz, sin embargo, hay discrepancia con la estimación del tiempo de innovación en dispositivos orientados al mercado de electrónica de consumo (para teléfonos celulares y tabletas que está impulsando el volumen de los MEMS), cuya duración es de seis meses aproximadamente en el mercado antes de ser reemplazados por nuevas y mejores versiones (Moyer, 2012). La ley de los MEMS, “un

dispositivo, un proceso”, está vigente en el amplio rango de aplicaciones, adaptando cada vez el proceso de fabricación a los requerimientos para el funcionamiento deseado del dispositivo MEMS. El proceso de desarrollo de un dispositivo MEMS incorpora las siguientes fases: estrategia tecnológica, diseño-simulación, prototipo, prueba y transferencia de la tecnología a la *foundry* para la fabricación.

La estimación del valor agregado de un MEMS se ha determinado en parte por la ejemplificación de un micrófono en la gráfica 15, cuyo costo promedio ronda alrededor de los 80 centavos de dólar por unidad y con base a la experiencia del Dr. Mathieu Hautefeuille. Debe aclararse, que la estimación del valor agregado de los dispositivos MEMS varía de acuerdo a su área de aplicación, abarcando un sinnúmero de factores, tales como la duración del proceso de innovación según la madurez de la tecnología por sector; depende también de las diferentes técnicas de fabricación utilizadas para el procesamiento de capas a nivel de oblea y nivel del *chip*<sup>180</sup>; y otros factores. De manera que se establecen rangos aproximados de valor agregado de forma genérica:

1) La etapa desde la concepción de la idea, el proceso de I&D y el diseño del MEMS se estima conforma entre un 30 y 40% del valor agregado<sup>181</sup>.

2) El diseño se vincula estrechamente con los procesos de fabricación. Una vez que la tecnología del prototipo de un MEMS se transfiere a la *foundry*, se realizan ajustes en el equipo para procesar parámetros, recetas y algunas veces todo el flujo del proceso con el fin de mejorar la producción y establecer criterios de calidad. Actualmente se incorporan rutinariamente circuitos integrados de aplicación específica (ASIC) junto con los

---

<sup>180</sup> Por ejemplo, el costo para procesar una capa para cada técnica depende, en su caso, desde la exposición o grabado, del proceso de resistencia (spinning o rotación, desplazamiento angular de un cuerpo rígido, pre-horneado, desarrollo y post-cocción), y de la litografía óptica, además del número de máquinas y operadores de la máquina para un determinado volumen. También el costo depende del tipo de material utilizado que comúnmente es el silicio, pero recientemente se han incorporado otros materiales como los polímeros, metales y cerámicas.

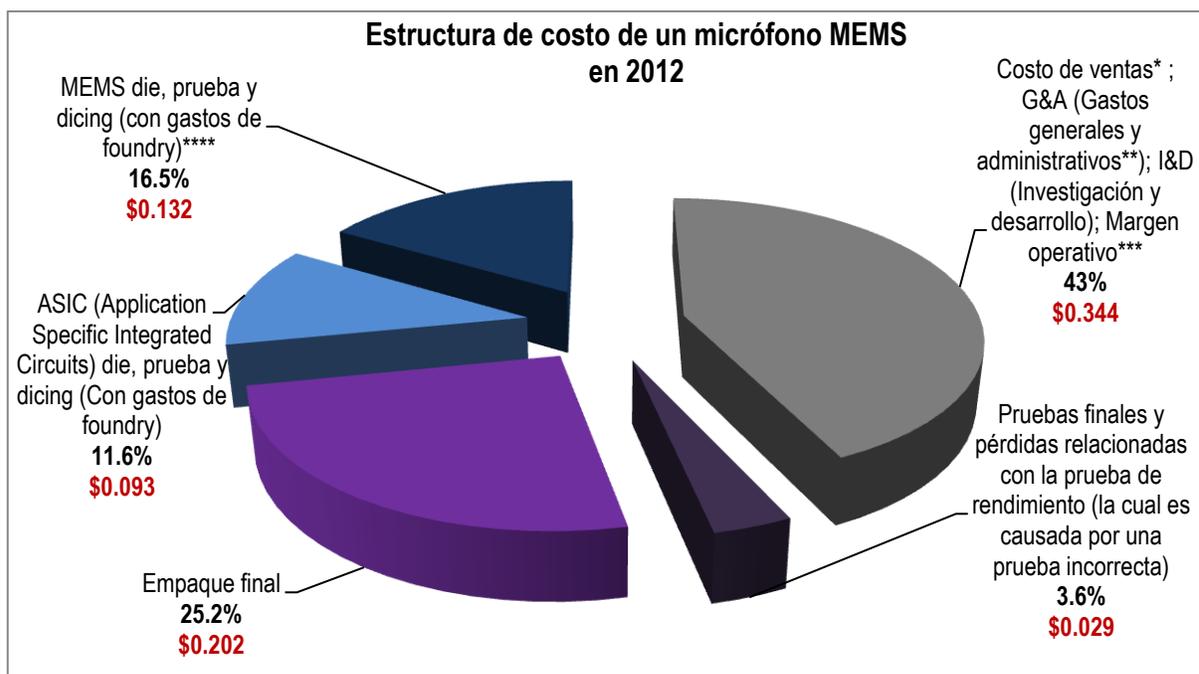
<sup>181</sup> En el ejemplo del micrófono MEMS de la gráfica 15, se omiten otros gastos como: a) costo de ventas o costos directos atribuibles a la producción de bienes, incluye costos de materiales junto con los costos de mano de obra directa; b) G&A o gastos generales y administrativos que incluye los costos relacionados con el departamento de recursos humanos y de contabilidad, renta, utilidades y gastos de seguro y c) margen operacional.

dispositivos MEMS en *chips* híbridos para proporcionar mayor funcionalidad. Por lo que no es de extrañar que en la cadena de valor de la figura 2 y la gráfica 15 se incorpore la fabricación y prueba del MEMS y ASIC respectivamente, constituyendo en conjunto una proporción de más 28% en la generación de valor agregado. En conclusión, el segmento de fabricación se calcula puede oscilar entre 10 y 30% en su contribución al valor agregado.

3) Hay otros pasos importantes al producir un MEMS, tales como empaquetamiento, pruebas y sistemas de integración. El ensamblado del empaque, prueba y calibración de MEMS (incluyendo el valor del sustrato) representa entre 30 y 60% del costo total de acuerdo a la madurez y complejidad del MEMS, ya que las tecnologías de embalaje se encuentran en estado embrionario con poca estandarización.

El diseño del empaque e integración debe ser parte del esfuerzo de I&D y se toma en cuenta desde el mismo inicio del diseño del dispositivo para garantizar un menor costo y determinar su función. La utilidad del empaque del MEMS se resume en tres funciones: soporte mecánico, protección del medio ambiente y conexión eléctrica con otros componentes del sistema. El formato del empaque del MEMS varía de acuerdo al rango de presión y la aplicación, afectando el rendimiento del dispositivo, la mayoría de los cuales son sensores conectados a su entorno final implicando restricciones muy específicas a nivel de módulo como la construcción de una cavidad, un hoyo en el sustrato o metal para el sensor de presión o micrófonos, una ventana óptica para un MEMS óptico o un vacío totalmente hermético a nivel del *die* (corte en cubitos de la oblea del MEMS). En cuanto al sistema de pruebas en los MEMS ocurre en tres niveles: oblea (*wafers*), dispositivo y sistema. Cada clase de MEMS es sujeto a estimulación física (como presión, aceleración, rotación, campo magnético, densidad química, campo óptico, exposición a fluidos, etc.) y requiere múltiples pruebas de temperatura a nivel de empaque final. Se dificulta igualmente debido a que los MEMS emergentes pueden necesitar ser compensados por sensibilidades cruzadas tales como vibración o presión (Bryzek y Roundy, 2012).

**GRÁFICA 15. DESGLOSE DE LOS SEGMENTOS QUE CONFORMAN EL COSTO DE UN MICRÓFONO MEMS**



Fuente: Yole Développement. Laurent Robin. *New MEMS Opportunities in cell phones and tablets: What will be the new killer apps. Micromachine/MEMS 2012-MEMS market briefing*. Los micrófonos MEMS en altos volúmenes para teléfonos celulares tienen un costo aproximado de 80 centavos de dólar por pieza.

\*Costos directos atribuibles a la producción de bienes, incluye costos de materiales junto con los costos de mano de obra directa.

\*\*Usualmente incluye los costos relacionados con el departamento de recursos humanos y de contabilidad, renta, utilidades y gastos de seguro.

\*\*\*Es la proporción de ingresos que queda después de pagar costos variables de producción tales como salarios, materias primas. Es el mejor indicador del potencial de beneficios a largo plazo

\*\*\*\**Dicing* MEMS es el proceso de cortar en cubitos el componente micro-electrónico, implicando varios retos, ya que algunos contienen membranas, dimensiones topográficas y otros componentes sensibles a la presión que no pueden resistir el impacto del agua en el proceso de cortar en cubos y el subsecuente ciclo de purificación.

Un indicador de la estandarización de empaques se percibe con la migración hacia la integración de MEMS con procesos CMOS que se aplican en la industria de los semiconductores. En los últimos años, se ha avanzado en la estandarización de pruebas por el incremento en la cantidad de sensores integrados a dispositivos móviles y eventualmente, se han desarrollado sistemas semi-estandarizados para apoyar las pruebas de alto volumen. El progreso de estandarización en sistema de pruebas por ejemplo, a nivel de oblea ha permitido en algunos casos las pruebas simultáneas de parámetros eléctricos y mecánicos

(frecuencia de resonancia, factor de calidad, curvas C-V<sup>182</sup>, cuadratura en giroscopios, etc.) pero aún es limitado a un conjunto de variables físicas. Por otro lado, el progreso de las pruebas a nivel de empaque es más exigente, tales sistemas incluyen típicamente tres componentes: controlador, generador de estímulos del sensor (que ha permitido las pruebas de sensores combos) y, la adquisición de datos y control del sistema. La mayoría de los sensores de alto volumen están integrados a productos electrónicos y digitales, fabricándose como múltiples cubos (MEMS y ASIC) en un empaque. Las dificultades asociadas a la configuración que incluye MEMS y ASIC (*Application Specific Integrated Circuits*) se espera acelerarán la reducción de la prueba de costo y el mejoramiento de la calidad de las pruebas (Bryzek y Roundy, 2012).

La complejidad en el diseño y fabricación de los dispositivos MEMS depende del tipo de aplicación, observándose en base a los ejemplos expuestos, que la mayor parte del valor se concentra en la etapa del ensamble, prueba y calibración así como en el *software* (enfocándose en proporcionar más funciones integradas a un dispositivo), representando en conjunto entre 30 y 60 % del valor agregado o añadido en el proceso de producción. La continua innovación en los procesos de los MEMS y el incremento en la integración de estos dispositivos con la electrónica, ya sea sobre un sustrato en común de silicio o en el mismo empaque para converger en procesos estándar (fabricación, prueba y calibración, empaquetamiento y ensamble), da cuenta del incremento en la demanda de dispositivos MEMS, previéndose en un corto espacio de tiempo la aceleración de los ciclos de I&D, diseño y comercialización.

## **2.7 Conclusiones preliminares**

Para situar las perspectivas de la industria de los MEMS a futuro es importante dejar claro que la tecnología MEMS, es un conjunto heterogéneo de técnicas de fabricación, algunas prestadas de la industria de los semiconductores para hacer estructuras tridimensionales a

---

<sup>182</sup> Las características C-V son una herramienta poderosa para el especialista en dispositivos, ya que revelan la naturaleza interna de la estructura y permiten identificar desvíos respecto al comportamiento ideal tanto en el óxido como en el semiconductor. Durante la fabricación de los dispositivos es habitual el control de las características C-V.

micro escala con funciones electro mecánicas. La estandarización de los procesos de fabricación y métodos de diseño de los MEMS es un tema recurrente sobre los desafíos de la industria. El diseño de los MEMS es un proceso iterativo, en el cual los diseñadores hacen simulaciones tanto como les sea posible, procesan, prueban y rediseñan hasta converger empíricamente en el diseño original<sup>183</sup>. Es un trabajo que requiere ingenieros de alta capacidad en interacción constante con clientes y *foundries* que cuenten con equipo de prueba sofisticado y personalizado, conllevando la comercialización de un dispositivo MEMS un lapso mínimo de cinco años y una gran inversión. De forma realista, es improbable que la industria de los MEMS sea capaz de lograr la estandarización de la cual goza la industria de los circuitos integrados. No obstante, la industria se está esforzando en establecer estándares, definir métodos de diseño y capacidades de simulación. Algunas acciones:

- 1) Se concentran en la debilidad presente dentro del ciclo diseño-fabricación-prueba del desarrollo del MEMS, que consiste en una mejor caracterización de los materiales empleados (prácticas que estabilizan y monitorean la calidad de material) y el establecimiento de reglas de diseño para trabajar los materiales.
- 2) Y algunos fabricantes están desarrollando plataformas tecnológicas adaptables a varios dispositivos MEMS (procesos estandarizados hechos para el cliente) o se enfocan en la construcción de plataformas de productos (tales como los sensores de presión o sensores ópticos) adaptados a las necesidades del cliente.

Tras del esfuerzo de la industria de los MEMS por converger en plataformas comunes de fabricación y familias de empaques consistentes para acelerar el tiempo al mercado y reducir los costos, la innovación y las redes de cooperación a lo largo de la cadena de valor son clave para lograr dicho objetivo. De lo anterior se deduce que la cadena de valor de los MEMS, está adoptando la gobernabilidad modular y relacional que se menciona en el marco teórico a causa de la naturaleza de esta tecnología. La tendencia en esta industria se inclina por el modelo de negocios tipo *fabless*, dando cabida a la colaboración estrecha entre casas de diseño y *foundries*.

---

<sup>183</sup> Las propiedades mecánicas de las películas delgadas son muy sensibles a las condiciones de deposición química, así las simulaciones de diseños mecánicos no serán exactas al menos que los materiales trabajados sean caracterizados y monitoreados (Fitzgerald, 2006).

Por una parte, se intenta construir protocolos en el diseño, caracterización, fabricación y sistemas de pruebas con la finalidad de definir estándares pero por otro lado, para que el diseño resulte exitoso se requiere de una relación simbiótica con ingenieros que tengan conocimiento de la compleja interacción entre el comportamiento del acoplamiento físico y las limitaciones de los procesos de fabricación<sup>184</sup>. Los líderes de la cadena de valor construyen ecosistemas de proveedores relevantes a las necesidades específicas de su tecnología, decidiendo con quién asociarse y bajo qué términos, escenario que confirma la complejidad de los factores determinantes de la ganancia considerados por David J. Teece<sup>185</sup> (expuestos ampliamente en el primer capítulo). Es una industria con 30 empresas representativas dentro de la cadena de valor de los MEMS, que en 2012 abarcaban el 75% de los ingresos y por ende de las ganancias del mercado, panorama que muestra la disyuntiva a la que cuál se enfrentan los competidores de reciente ingreso.

Recapitulando en torno al marco teórico de este trabajo y la información expuesta en este segundo capítulo, se infiere que el control de la cadena de valor de los MEMS se ha centralizado alrededor principalmente de Estados Unidos y Europa, utilizándose algunas regiones de Asia como plataformas de fabricación de bajo costo por empresas transnacionales. Y hay indicios de una reestructuración de la industria de los MEMS en la nueva geografía del conocimiento, enfatizada por Dieter Ernst dentro de su propuesta conceptual de las redes globales de innovación. Es decir, la subcontratación y/o la deslocalización de actividades de I&D por empresas transnacionales a favor de establecer estos centros en locaciones de bajo costo, como el caso de Asia en particular China para desarrollar nuevas generaciones de productos (Alton, 2008). El enfoque de estos centros

---

<sup>184</sup> La tecnología MEMS no cuenta todavía con herramientas de automatización de diseño electrónico y reglas de diseño específico para *foundries* como la industria de los semiconductores. Por ejemplo, en la transferencia de la tecnología del prototipo a la *foundry*, al principio un lote de obleas es fabricado utilizando conocimiento interno porque no todas las instalaciones tienen el mismo conjunto de equipos, un proceso que funciona exitosamente en un laboratorio puede no funcionar inmediatamente en una *foundry*. Los ajustes deben ser hechos para parámetros de procesos y recetas a fin de adaptar procesos estándar (Fitzgerald, 2011).

<sup>185</sup> Los tres factores a considerar son: evolución industrial o paradigma de diseño dominante, régimen de apropiación y complementariedad. Por ejemplo, una empresa líder como *ST Electronics* colabora con *Microsoft* para permitir la adopción de la tecnología de sensores de tabletas y computadoras basadas en *Windows 8* o la empresa Sony (*foundry* de MEMS) fuerte en micrófonos MEMS trata de expandir su rango de aplicación en el área médica al absorber *Micronics, Inc* de Redmond, Washington para dispositivos de diagnóstico de enfermedades, control de tratamientos y pruebas de sangre. *Micronics* trabaja con la división de I&D de ciencias de la vida de Sony para desarrollar conjuntamente tecnologías y nuevos productos (Bouchaud, 2011/e).

desde la categoría del “aumento de la base doméstica” o el uso del conocimiento local con el objeto de crear nuevos productos para mercados regionales y globales, es una ventana de oportunidad para este tipo de países con la iniciativa de construir capacidades de innovación endógena. Debe enfatizarse que China y algunos países asiáticos tienen una estrategia definida, concertando fusiones y adquisiciones con empresas transnacionales para compartir tecnología e información. En la interacción cercana con las transnacionales muy probablemente la propiedad intelectual más importante no esté al alcance de estos países, pero participan en el conocimiento de cómo se realiza un proyecto de I&D a largo plazo, el uso de herramientas innovadoras y procesos de metodología que tomaría años desarrollar de forma independiente (Engardio y Rissing, 2008).

En el caso específico de China la demanda de MEMS va en incremento por la capacidad de fabricación e integración de MEMS en productos tales como teléfonos celulares, electrónica de automóviles y otros dispositivos electrónicos de consumo. La inversión del gobierno chino recientemente está apoyando proyectos de I&D en centros de investigación, universidades y empresas. Aún cuando la industria de los MEMS todavía transita por su fase introductoria, sus empresas nacionales *First MEMS Co., Ltd.* y MEMSIC tienen cierto reconocimiento internacional, además de que algunas otras empresas como SMIC, ASMC, CSMC y otras *foundries* se encuentran desarrollando activamente negocios en relación a los MEMS. Algunos procesos de empaquetamiento de MEMS se realizan (acelerómetros, giroscopios, sensores de presión, bolómetros y micrófonos) en China y se encuentran presentes fabricantes locales de obleas, así como proveedores de equipo de fabricación de MEMS en Taiwán y/o China, infraestructura potencial para construir en un futuro cercano una cadena interna de suministro de alto volumen. Al respecto, cabe mencionar que está en puerta un proyecto para establecer un parque industrial en Fushun, al noreste de China destinado a la fabricación de sensores MEMS, iniciativa emprendida por el conglomerado minero *Hanking Group* (Ding, 2012; Spark, 2011; Clarke, 2012).

Por otro lado, la deslocalización de I&D y/o la subcontratación de investigación por empresas transnacionales en centros de I&D en México, de proyectos relacionados con la

industria de los MEMS hasta ahora no hay dato que corrobore su existencia<sup>186</sup>. Desde el 2002, se ha ido forjando la iniciativa en México de una RED MEMS con la idea de establecer una plataforma de fabricación nacional, compuesta por centros de investigación de universidades que se vinculan principalmente con instituciones estadounidenses o europeas (p.e. *Sandia National Laboratories* firmó un convenio con participantes del Programa Nacional para el Diseño y Fabricación de Prototipos MEMS para la difusión del *software* de diseño SUMMIT-V<sup>187</sup>). La falta de infraestructura suficiente, recursos financieros y sobre todo una estrategia nacional articulada para el desarrollo de la tecnología MEMS, inspira inquietud e incertidumbre acerca de la posible colaboración con empresas extranjeras, puesto que históricamente la experiencia en la industria electrónica dejó expuesta las limitaciones y desventajas del esquema maquilador. Probablemente el tipo de relación que se establezca entre México y la empresa extranjera en relación con la tecnología MEMS, corresponda a la otra categoría que propone Dieter Ernst, es decir, la relación de “explotación de la base doméstica” o la adaptación de la tecnología desarrollada en la base de operaciones de la empresa para la comercialización en mercados internacionales. De modo que se captaría el talento nacional de alto conocimiento a menor costo, incubándose la investigación para la generación de ideas y patentes, pero reproduciendo simultáneamente principios similares que susciten el surgimiento de una “nueva maquiladora mexicana<sup>188</sup>”.

La digitalización y modularidad han hecho posible la separación de la I&D y diseño de la fabricación en industrias, donde previamente estas funciones habían sido integradas al interior de las corporaciones. La fragmentación y especialización denota ventajas para las empresas líderes pero al mismo tiempo, crea desventajas para países en desarrollo cuyas actividades tienen el propósito de generar nuevo conocimiento y prácticas de innovación, en circunstancias donde no se cuenta con la experiencia de conjunto que involucre a la fabricación. Al respecto incluso hay un álgido debate en Estados Unidos, sobre la

---

<sup>186</sup> Hay dos filiales de empresas extranjeras enfocadas a ofrecer servicios de la tecnología MEMS: TEAM TECHNOLOGIES (*foundry* localizada en *Sandia Science and Technology Park*) y STMicorelectronics con varios distribuidores y representantes de ventas en México (Consortio Mexicano de Microsistemas).

<sup>187</sup> Es una iniciativa de varias instituciones educativas en México para la difusión de la tecnología MEMS.

<sup>188</sup> Según el Dr. Mathieu Hautefeuille del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias de la UNAM es una expresión que se emplea en Francia para calificar la percepción de lo que acontece en la industria aeronáutica de Querétaro con el establecimiento de empresas francesas en este sector.

importancia de la fabricación que atañe a la industria de los MEMS en el proceso iterativo del ciclo diseño-fabricación-prueba. Se asegura que es necesaria una fuerte conexión entre diseño y fabricación para desarrollar procesos innovadores más eficientes, los cuales definirán en un momento dado el costo de la tecnología. Así como otras implicaciones importantes a largo plazo que expone sucintamente Al Pisano, especialista en MEMS y profesor en *University of California, Berkeley*: “La fabricación atrae a trabajadores de mantenimiento a las nuevas ubicaciones; cuando se adquiere la suficiente práctica en esta área, empieza a sembrarse la ingeniería en la nueva ubicación; cuando se acumula la ingeniería suficiente atrae la I&D; y es la necesidad de la I&D, la que genera la necesidad de la educación (Lightman, 2011/c). Este tema es de suma trascendencia para determinar objetivamente la oportunidad real de países en desarrollo que buscan innovar en productos y procesos de MEMS, especializándose en actividades de diseño e I&D, puesto que esta tecnología implica construir un proceso de diseño por corrección pautada siempre desde las limitaciones de la fabricación.

El ámbito creativo en la industria de los MEMS requiere de forma imprescindible grupos interdisciplinarios que conformen un lenguaje común de entendimiento y la colaboración de diversos agentes sociales con distintos criterios e intereses, aspectos que plantean dificultades culturales en el siguiente sentido: el proceso interpretativo de Lester y Piore en la innovación (concepto del marco teórico) es concebido dentro de una comunidad lingüística donde fluyen las ideas de forma menos restrictiva (que en el espacio marcado por la lógica del mercado) favoreciendo la expresión creativa. 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 que están arraigadas culturalmente en sociedades que respetan y practican estos principios. Lo cual conduce a plantearse, sí en sociedades tan autoritarias como China y México con estructuras tan conservadoras, tienen la posibilidad de emular estos ambientes propicios para la innovación.

## CAPÍTULO 3. SISTEMA CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO: MÉXICO Y CHINA

### 3.1 Introducción

En este capítulo se ofrece un panorama a nivel macro de la innovación, presentándose las políticas de ciencia y tecnología de ambos países, incorporando el presupuesto fiscal dirigido al fomento de la ciencia y tecnología, la política arancelaria y variables tales como la balanza de pagos tecnológica para apalancar la innovación y otras. Además se realiza un acercamiento a nivel meso<sup>189</sup> que da cuenta de la forma en que el Estado y los demás actores (centros de I&D, universidades, empresas) se interrelacionan para desarrollar capacidades de innovación tangibles, mediante la implementación de una política de ciencia y tecnología en la industria de los MEMS.

Este capítulo se divide en tres partes:

1) En la primera sección se presentan indicadores cuantitativos (con sus respectivas limitaciones)<sup>190</sup>, tales como el gasto en investigación y desarrollo experimental (GIDE), recursos humanos en ciencia y tecnología, publicaciones y patentes, este último con datos específicos sobre la tecnología MEMS, ofreciendo un panorama global que identifica los líderes en ciencia y tecnología, así como algunas tendencias regionales en cuanto a la concentración de la investigación.

2) En la segunda sección se introduce un panorama general de la economía mexicana con especial énfasis en las políticas macroeconómicas (monetaria y fiscal, regulaciones del tipo de cambio, regulaciones en el mercado financiero y de crédito, medidas en la balanza de

---

<sup>189</sup> Es la “dimensión donde se generan las ventajas competitivas institucionales y organizativas, los patrones específicos de organización y gestión y los perfiles nacionales que sustentan las ventajas competitivas y que son difícilmente imitables por los competidores”. En este nivel los diferentes actores sociales y el Estado diseñan las políticas orientadas a la formación de estructuras coadyuvantes al desarrollo de las empresas y a la articulación de procesos de aprendizaje a nivel de la sociedad. Además en este nivel se conjugan mecanismos, políticas e instituciones que atañen a la competitividad de sectores individuales y en su conjunto, tanto público como privado y de organizaciones no gubernamentales, así como relaciones inter o intraempresa (Dussel Peters, 2003/b: 26 y 27).

<sup>190</sup> La I&D y/o las patentes (registro de invenciones y derechos sobre ella) ciertamente por sí solas, no obran el milagro de generar innovaciones que impacten en el crecimiento y desarrollo económico, esto se comprende dentro de un marco de referencia social, es decir, una estrategia real de desarrollo nacional.

pagos y en algunos casos, las políticas que regulan los salarios), para contextualizar las condiciones a partir de las cuales se hace ciencia y crea tecnología en México. Posteriormente se analizan los indicadores representativos de gasto en I&D, recursos humanos y, la política específica de ciencia y tecnología en relación a los MEMS para mostrar la infraestructura con la que se cuenta y su expectativa de desarrollo a futuro.

3) En la tercera sección se presenta la misma información del segundo inciso pero enfocado al caso de China. Debe aclararse que China y México han transitado por trayectorias tecnológicas disímiles, presentándose el caso de China como un punto de referencia interesante, desde el cual, se desprende una lección importante de las diversas alternativas en la construcción de capacidades científico-tecnológicas y su vinculación al sector productivo. El análisis de ambos países se aborda desde un examen de dos modelos de política pública en ciencia y tecnología, para comprender su impacto en el potencial desarrollo de tecnología endógena e innovación en la industria de los MEMS de China y México.

### **3. 1.1 Ciencia y tecnología desde una perspectiva mundial**

La interdependencia entre la ciencia y la técnica no es un fenómeno nuevo, pero como bien puntualiza el sociólogo alemán Jürgen Habermas, “el desarrollo de la ciencia moderna y la evolución de la técnica<sup>191</sup> se han institucionalizado en el modo de producción capitalista, desde el momento en que el campo de la producción industrial de mercancías ha requerido urgentemente de nuevas técnicas, transportes y medios de circulación”. Hoy en día la vinculación sistemática del desarrollo científico y el progreso técnico se concibe dentro de un marco institucional, siendo su ejecutor principal el Estado cuyo financiamiento para I&D ha alcanzado grandes magnitudes. La dirección y asignación de estos fondos por el Estado, generalmente persigue metas públicas tales como salud, energía y defensa.

---

<sup>191</sup> Habermas enfatiza la estrecha interrelación entre ciencia y técnica, en el sentido del progreso del conocimiento (sus leyes e interpretación) en un saber técnicamente utilizable. La ciencia moderna desde los tiempos de Galileo se rige “por el principio según el cual conocemos ciertos procesos en la medida en que podemos reproducirlos artificialmente...En la medida en que las ciencias naturales no se limitan a reproducir desarrollos ya existentes en la naturaleza, sino que se disponen a poner en marcha nuevos procesos naturales, la investigación pasa también a depender de los progresos de la técnica” (Habermas, 1993:319-320).

## Gasto en I&D a nivel mundial

El principal indicador con aceptación internacional que permite comparar el esfuerzo científico y tecnológico entre países, es el índice total de gasto de investigación y desarrollo experimental (IDE), que comprende la investigación básica, investigación aplicada junto con el desarrollo experimental (uso sistemático del conocimiento dirigido hacia la producción de materiales útiles, dispositivos, sistemas o métodos, incluyendo el diseño y desarrollo de prototipos y procesos) (*World Investment Report 2005: Transnational Corporations and the Internationalization of R&D*). Se muestra en el cuadro 1 que el mayor gasto en IDE a nivel mundial es ejercido por Estados Unidos, Japón y Alemania que en conjunto representaban un total mundial entre 62.42% en el año 2000, 54.58% en el año 2008 y 50.5% en el 2011. Esta tríada forma parte de los 10 países que en bloque concentraban más del 80% del gasto del IDE en el período 2000-2011, figurando también China y Corea. En el período de 2008-2011, la crisis financiera global incidió negativamente en el gasto del IDE de la mayoría de los países, implementándose recortes presupuestales con excepción de China y Corea. La tríada de países que encabeza la lista del gasto del IDE del cuadro 1 continuaron siendo los líderes hasta el año 2004, un año después, China rebasaba en presupuesto a Alemania y para 2009 en plena crisis global se posiciona detrás de Estados Unidos desplazando a Japón. El sorprendente salto cuantitativo en el gasto del IDE de China durante el período de 2000-2011 se multiplicó por más de seis veces, cuya tasa de crecimiento se registró en un promedio anual de 17.73%, al igual que Corea incrementó más del doble su gasto durante el mismo período a un ritmo de crecimiento anual del 9.58%. En el cuadro 1, el grupo de países en desarrollo más representativo aumentó su participación en el IDE mundial de 14.77% en el año 2000 a 28.77% en el 2011, corroborando que China y Corea impulsaron parte de este cambio importante. Mientras tanto México creció a una modesta tasa anual de 4.19% de 2000 a 2011.

El nivel de concentración también se refleja en el gasto en I&D experimental del sector empresarial, el cual de acuerdo a la metodología de *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) comprende a empresas privadas y públicas e institutos

que sirven a tales empresas. El sector empresarial de Estados Unidos, Japón y Alemania se encuentran al frente de los países que más gastan en I&D, constandingo en grupo del 67.14% del total del gasto mundial en 2000 para disminuir a 51.88% en 2011. En el grupo de países en desarrollo del cuadro 1 se destaca el sector empresarial de China, país que incrementó notablemente su gasto en I&D experimental de 3.53% a nivel mundial en el año 2000 a 17.64% en el año 2011, con una tasa de crecimiento anual promedio de 20.26% y lograr posicionarse detrás de Estados Unidos en 2011. Este incremento se debió a que a finales de 1999, el gobierno chino obligó a transitar por un proceso de rápida conversión a cientos de centros de investigación en empresas independientes de base tecnológica. Mientras que el sector empresarial de Corea igual triplicó su gasto durante 2000-2011 con un crecimiento anual promedio de 9.91%. Se ha apoyado también indirectamente la I&D en las empresas, mediante créditos fiscales como el caso de Estados Unidos, cuyo monto en 2011 ascendió a 8.3 mil millones de dólares (mmd), seguido por Francia (6.07 mmd) y China (4.9 mmd). También ese mismo año países como la Federación de Rusia, Corea, Francia y Eslovenia otorgaron el mayor apoyo mixto para la I&D empresarial como porcentaje del PIB. Aunque hay países como Alemania, Finlandia, Suecia y Suiza que no ofrecen incentivos fiscales pero cuentan con un sector de I&D empresarial robusto (*OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2013*). Por otra lado, el sector empresarial de México gastó en I&D experimental 1.3 mil millones de dólares en el año 2000, sumiéndose en un aletargado ritmo para alcanzar 2.45 mil millones de dólares (mmd) en el año 2011, este último monto es inferior incluso al gasto del sector empresarial de Singapur (3.86 mmd) y Turquía (3.69 mmd) en el mismo año. Las medidas que el gobierno mexicano ha dirigido para reducir la preferencia de las empresas por tecnologías importadas sobre el desarrollo de la capacidad nacional, no han tenido el éxito esperado. A pesar de la reforma para remover los obstáculos legales y de regulación en la creación de empresas, el proceso de gestación de entidades innovadoras ha sido muy lento<sup>192</sup> (*OECD Science, Technology and Industry Outlook 2012*).

---

<sup>192</sup> A pesar del relativo mejoramiento de algunas economías en América Latina y considerando la heterogeneidad de la región, se percibe una persistente debilidad estructural: economías orientadas hacia *commodities*, bajos niveles de industrialización, una tasa de distribución del ingreso regresiva y limitado acceso a los fondos internacionales como resultado de la dificultad en el pago de deuda externa desde décadas pasadas (UNESCO, *Science Report 2010*).

CUADRO 1

DIEZ PAÍSES MÁS IMPORTANTES POR IDE TOTAL Y GASTO EN I&D POR EL SECTOR EMPRESARIAL (MILES DE MILLONES DE DÓLARES a precios constantes de 2005)							
PAÍSES	IDE TOTAL			GASTO EN I&D DEL SECTOR EMPRESARIAL			
	2000	2008	2011		2000	2008	2011
<b>Total Mundial</b>	758.95	1076.43	1150.37	<b>Total Mundial**</b>	516.41	734.39	<b>785.97</b>
<b>Estados Unidos</b>	302.23	374.19	366.29	<b>Estados Unidos</b>	225.39	267.74	250.36
<b>Japón</b>	110.01	138.68	133.22	<b>Japón</b>	78.06	108.81	102.53
<b>Alemania</b>	61.57	74.7	81.53	<b>Alemania</b>	43.3	51.73	54.89
<b>Francia</b>	36.94	41.39	43.96	<b>Francia</b>	23.09	25.96	27.88
<b>Reino Unido</b>	31.16	37.19	36.61	<b>Reino Unido</b>	20.24	23.05	22.5
<b>China</b>	30.4	111.18	183.09	<b>China</b>	18.22	81.45	138.67
<b>Corea</b>	20.21	41.68	55.28	<b>Corea</b>	14.96	31.41	42.31
<b>Canadá</b>	19.06	22.97	21.46	<b>Canadá</b>	11.49	12.43	11
<b>Italia</b>	16.41	20.52	20.55	<b>Italia</b>	8.21	10.99	11.13
<b>Suecia</b>	nd	11.68	11.19	<b>Suecia</b>	nd	8.65	7.75
<b>Total (10 países)</b>	627.99	874.18	953.18	<b>Total (10 países)</b>	442.96	622.22	669.02
<b>Participación de los 10 países en total mundial (%)</b>	82.74%	81.21%	82.86%	<b>Participación de los 10 países en total mundial (%)</b>	85.78%	84.73%	85.12%
PAÍSES EN DESARROLLO							
<b>Grupo (PeD)</b>	112.06	234.63	330.91	<b>Grupo (PeD)</b>	55.36	150.42	222
<b>China</b>	30.4	111.18	183.09	<b>China</b>	18.22	81.45	138.67
<b>Corea</b>	20.21	41.68	55.28	<b>Corea</b>	14.96	31.41	42.31
<b>Taiwán</b>	9.86	19.02	23.37	<b>Taiwán</b>	6.27	13.44	16.98
<b>Brasil</b>	14.04	20.45	22.83	<b>Brasil</b>	nd	nd	nd
<b>Rusia</b>	13.24	21.89	23.03	<b>Rusia</b>	9.37	13.77	14.04
<b>India</b>	13.55	nd	nd	<b>India</b>	2.44	nd	nd
<b>México</b>	4.01	5.79	6.3	<b>México</b>	1.19	2.22	2.45
<b>Singapur</b>	2.83	6.16	6.22	<b>Singapur</b>	1.75	4.42	3.86
<b>Turquía</b>	2.99	6.38	8.54	<b>Turquía</b>	1	2.82	3.69
<b>Hong Kong</b>	0.93	2.08	2.25	<b>Hong Kong</b>	0.16	0.89	nd
<b>Participación de países en desarrollo (%)</b>	14.77%	21.79%	28.77%	<b>Participación de países en desarrollo (%)</b>	10.72%	20.48%	28.25%

Fuente: OECD.StatExtracts, Main Science and Technology Indicators y Main Science and Technology Indicators, Volume 2013 Issue 1, OECD.

La clasificación de la rama de la industria manufacturera por la OECD se divide en cuatro categorías de acuerdo a la intensidad del IDE, dando lugar a sectores de alta tecnología (más del 5%), media-alta tecnología (1.5-5%), media-baja (0.7-1.5%) y baja intensidad tecnológica (menos del 0.7%)<sup>193</sup>. Con base a esta clasificación<sup>194</sup> se revela que en 2005 el sector empresarial de los países pertenecientes a la OECD dedicó en promedio 32.82% del gasto en I&D en las industrias de alta tecnología y en 2010 esta media disminuyó a 28.40%. Los sectores empresariales de países como Estados Unidos, Alemania y Japón han registrado montos de gasto en 2010 de 50.48%, 27.68% y 35.85% respectivamente, denotando que la tendencia a nivel mundial favorece a las industrias relacionadas con la biotecnología, informática y electrónica (OECD. Stat *Structural composition of BERD*).

### **Recursos humanos en Ciencia y Tecnología a nivel mundial**

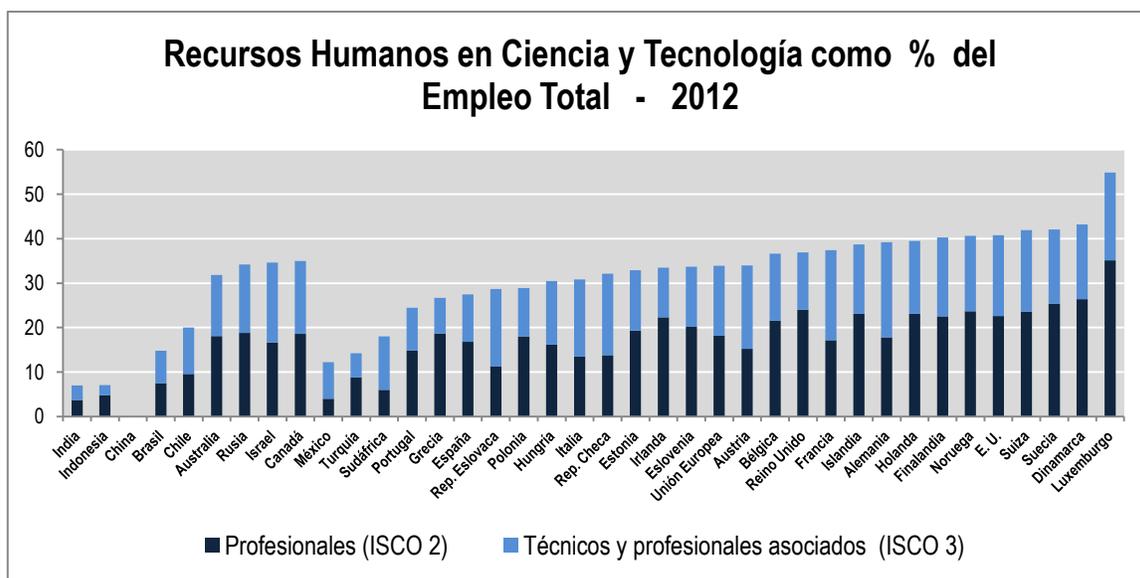
Las capacidades de alto nivel son críticas para crear nuevo conocimiento, tecnologías e innovación, especialmente los recursos humanos en ciencia y tecnología, los cuales representan en países desarrollados más del 30% del empleo total (ver gráfica 1). En Estados Unidos los profesionales y técnicos en relación a áreas de ciencia y tecnología representan el 40.8% del empleo, del cual el 28.5% se ocupa en la manufactura y 35.4 % en el sector servicios. Francia (39.2%) y Alemania (37.4%) son países cuyos recursos humanos en ciencia y tecnología se emplean mayoritariamente en manufactura, mientras que la Unión Europea en conjunto emplea 25.4% de los recursos en manufactura y 29.5% en el sector servicios. México por su parte emplea profesionales y técnicos de ciencia y tecnología en el 12% del empleo total, detrás de países como Chile (20%), Brasil (14.7%) y Turquía (14.2%).

---

<sup>193</sup> De acuerdo a Dussel Peters, la clasificación no necesariamente refleja la naturaleza de la I&D, es decir, que probablemente industrias de baja y media intensidad tecnológica involucre eventualmente investigaciones cada vez más complejas. También advierte que desde la perspectiva de las cadenas globales de producción se atribuye gran importancia a los productos de las denominadas industrias de alta tecnología, desvirtuando la importancia de otras actividades como el de servicios o la agrícola, nichos en los cuales se han desarrollado innovaciones que implican de igual forma alta tecnología como el caso de la biotecnología verde.

<sup>194</sup> En la primera categoría se encuentran las industrias aeroespacial, farmacéutica, electrónica, de equipo médico y científico. La segunda categoría se compone de la industria química, de maquinaria eléctrica y de vehículos de motor. En la tercera categoría se integra la industria de productos de petróleo, nuclear, productos de plástico, minerales no metálicos, industria naval y metales básicos. Y la cuarta categoría incluye a las industrias de pulpa y papel, alimentos y bebidas, textiles y calzados, entre otras.

**GRÁFICA 1**



Fuente: *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2013*.

ISCO 2-De acuerdo a la Clasificación Internacional Estándar de Ocupaciones, este grupo está conformado por profesionales de física matemáticas e ingenierías; profesionales de ciencias de la vida y de la salud; profesionales de la enseñanza y otras.

ISCO 3-Técnicos o profesionales asociados en física, matemáticas e ingenierías; profesionales de ciencias de la vida y de la salud; profesionales de la enseñanza y otras.

En el período de 2007-2011 se ponderó la excelencia académica de 50 universidades, 35 de las cuales pertenecen a Estados Unidos y el resto a Europa, entrando por primera vez en la clasificación dos universidad de Taiwán, Republica de China. Las disciplinas a destacar en Estados Unidos fueron bioquímica, ciencias de la computación, neurociencias y psicología. Reino Unido clasificada en segundo lugar mostró fortalezas en ciencias médicas y ciencias sociales, mientras que las universidades de Asia tienen un papel relevante en ingeniería química, energía y veterinaria.

En el cuadro 2 se puede apreciar algunos indicadores con respecto a los investigadores de tiempo completo, su representación a nivel mundial y el gasto interno bruto en I&D por investigador. Los países desarrollados aportaron más de 2/3 partes de los investigadores a nivel mundial entre 2002-2009, mientras que los países en desarrollo incrementaron su participación de 30.1% en 2002 a 35.5% en 2009, atribuyéndose en gran medida este aumento a China. Actualmente los investigadores de China representan aproximadamente el 20% del acervo mundial y como parte de Asia, esta región también ha incrementado su

participación aproximadamente en 40% del total mundial de investigadores. Japón tiene un grupo creciente de investigadores representando a nivel mundial alrededor de 10%, su sistema de innovación de ciencia y tecnología ha cambiado a partir de 2004, cuando a las universidades se les asignó un estatus de corporación independiente, disminuyendo el subsidio gubernamental 1% cada año (durante 100 años las universidades japonesas fueron totalmente financiadas por el gobierno). Corea por su parte, concede gran prioridad a la ciencia y tecnología como elemento clave para convertirse en un país avanzado, representando el 3.8% de los investigadores a nivel mundial. El caso de la India es muy particular ya que representa 2.2% del total mundial de investigadores, pero la industria nacional se queja de la escasez de personal calificado, cuyo origen probablemente en parte se deba a la multiplicación de centros de I&D extranjeros<sup>195</sup> (750 a finales de 2009) que acaparan los mejores candidatos.

El sudeste de Asia y Oceanía alberga países muy dispares, desde economías muy desarrolladas hasta países muy pobres, pero tienen una característica en común que es la creciente prioridad en la investigación relacionada con el cambio climático y energías renovables. Singapur es uno de los más destacados, teniendo como objetivo convertirse en un centro mundial de biomedicina y, tecnologías de información y comunicación, su política de fomento al talento local y global ofreciendo sueldos competitivos a nivel mundial, ha dado lugar a un rápido incremento de investigadores de tiempo completo que en 2002 se calculaba en 18,120 para alcanzar la cifra de 32,031 investigadores en 2011. Australia por otro lado, es un proveedor importante de materias primas principalmente de países como China e India, lo que indujo a nutrir la I&D en relación a la industria minera, teniendo como efecto que el sector empresarial fomentara la I&D.

---

<sup>195</sup> La internacionalización de las actividades de investigación y desarrollo (I&D) por las empresas transnacionales (ETN) no es un fenómeno nuevo, sin embargo, se percibe la ampliación de la internacionalización de las operaciones de las ETN, que siempre han tenido que adaptar sus tecnologías a las condiciones locales para poder vender con éxito en los países receptores. Tradicionalmente las actividades de I&D se reservaban para los países de origen de las ETN, hoy en día el proceso de internacionalización presenta una serie de rasgos nuevos, como la localización de actividades de I&D que van más allá de la simple adaptación, fuera de los países desarrollados, teniendo como objetivo los mercados mundiales (*World Investment Report 2005: Transnational Corporations and the Internationalization of R&D*).

**CUADRO 2. INDICADORES SBRE INVESTIGADORES A NIVEL MUNDIAL**

INDICADORES SOBRE INVESTIGADORES A NIVEL MUNDIAL	Investigadores (miles)			Investigadores (%) mundial			GIBID por Investigador (miles de dólares a PPA)		
	2002	2007	2009	2002	2007	2009	2002	2007	2009
<b>Mundo</b>	5784.1	7,144.2	7,000.4	100.0%	100.0%	100.0%	136.2	161.7	182.4
Países desarrollados	4,014.1	4,427.8	4,477.7	69.4%	62.0%	64.0%	161.9	199.4	208.0
Países en desarrollo	1,740.9	2,681.6	2,484.3	30.1%	37.5%	35.5%	78.4	100.9	138.2
Países menos adelantados	29.2	34.9	38.4	0.5%	0.5%	0.5%	43.3	51.8	55.6
<b>Regiones</b>	<b>2002</b>	<b>2007</b>	<b>2009</b>	<b>2002</b>	<b>2007</b>	<b>2009</b>	<b>2002</b>	<b>2007</b>	<b>2009</b>
América del Norte	1,458.4	1,562.0	1,588.4	25.2%	21.9%	22.7%	203.8	255.2	262.8
América Latina y el Caribe	175.0	238.1	264.2	3.0%	3.3%	3.8%	125.6	144.4	151.4
Europa	1,868.5	2,123.3	2,179.4	32.3%	29.7%	31.1%	126.5	152.8	166.7
África	127.1	153.4	143.7	2.2%	2.1%	2.1%	54.8	70.5	82.1
Asia	2,037.2	2,921.4	2,672.5	35.2%	40.9%	38.2%	105.0	125.9	157.8
Oceanía	117.9	146.0	152.2	2.0%	2.0%	2.2%	95.1	131.7	147.1
<b>Algunos Países</b>	<b>2002</b>	<b>2007</b>	<b>2009</b>	<b>2002</b>	<b>2007</b>	<b>2009</b>	<b>2002</b>	<b>2007</b>	<b>2009</b>
Argentina	26.1	38.7	43.7	0.5%	0.5%	0.6%	44.4	68.9	79.3
Brasil	82.2	116.3	129.1	1.4%	1.6%	1.8%	158.3	174.7	183.7
Canadá	116.0	149.3	150.2	2.0%	2.1%	2.2%	165.0	161.3	160.3
Egipto	nd	49.4	33.5	nd	0.7%	0.5%	nd	20.9	30.2
Francia	186.4	221.9	234.3	3.2%	3.1%	0.5%	204.7	198.5	201.9
Alemania	265.8	290.9	317.2	4.6%	4.1%	4.4%	213.1	254.7	269.5
Irán	nd	50.5	54.3	nd	0.7%	0.8%	nd	93.0	118.6
México	31.1	37.9	43.0	0.5%	0.5%	0.6%	134.0	150.8	142.5
Corea	141.9	221.9	244.1	2.5%	3.1%	3.4%	158.6	183.6	185.9
Federación de Rusia	491.9	469.1	442.3	8.5%	6.6%	6.3%	29.6	56.8	75.8
Turquía	24.0	49.7	57.8	0.4%	0.7%	0.8%	125.4	142.0	150.3
Reino Unido	198.2	252.7	256.1	3.4%	3.5%	3.5%	154.6	153.4	166.9
Estados Unidos	1,342.5	1,412.6	1,250.9	23.2%	19.8%	17.9%	206.4	264.2	nd
Japón	623.0	684.3	655.5	10.7%	9.6%	9.4%	173.6	215.9	209.2
China	810.5	1,423.4	1,152.3	14.0%	19.9%	16.5%	48.4	72.0	133.8
India	115.9	154.8	nd	2.0%	2.2%	nd	105.9	126.7	nd

Fuente: UNESCO, UIS Stat.

PPP-Purchasing Power Parity (Paridad de Poder de Compra)

Mientras que la contribución de investigadores a nivel mundial de América Latina ha sido sólo de 3.8% (2009), situando a la región en una posición bastante marginal (véase cuadro 2). A pesar de que las inversiones en I&D de la región siguen siendo insuficientes, el desarrollo de su capital humano ha mejorado, ya que el número de investigadores se incrementó en 50.97% entre 2002 y 2009. Argentina, Brasil, Chile y México dan cuenta de más del 90% de esos investigadores, destacándose que 1.8% o casi la mitad se encuentran en Brasil, puesto que este país desde 1960 implementó una política continua de entrenamiento a nivel posgrado. Un fenómeno preocupante observado en la región, es la pérdida de personal calificado a causa de la migración en búsqueda de mejores sueldos y la insuficiente utilización del capital humano a nivel nacional. La magnitud de la fuga de cerebros se estima baja para Argentina (4.7%) y Brasil (3.3%), moderada para México (14.3%) y Colombia (11%), y alta para Nicaragua (30.9%) y Cuba (28.9%), denotándose que la mayoría de los científicos emigraron a Estados Unidos y España por la herencia cultural compartida (*UNESCO, Science Report 2010*). De acuerdo a datos *World Intellectual Property Organization* (WIPO) inventores de origen latinoamericano representan el 3% del total de inmigrantes en E. U y 2% de inmigrantes en Europa.

### **Publicaciones científicas a nivel mundial**

Una forma muy tangible de visualizar los resultados de la I&D son las publicaciones científicas, cuya mención o cantidad de citas se convierte en una medida de calidad (ajustada) del resultado de la investigación<sup>196</sup>. Durante el período de 2003-2011, Estados Unidos ha conservado su rol dominante con 4260 documentos científicos, seguido de China (2013), Reino Unido (1164) y Alemania (1036), en ese orden. Mientras que Suiza fue el país con mayor proporción de documentos citados<sup>197</sup> entre las publicaciones domésticas, seguido muy de cerca por Dinamarca y Holanda (véase gráfica 2). Por regla general, las publicaciones más citadas probablemente involucren colaboración entre instituciones

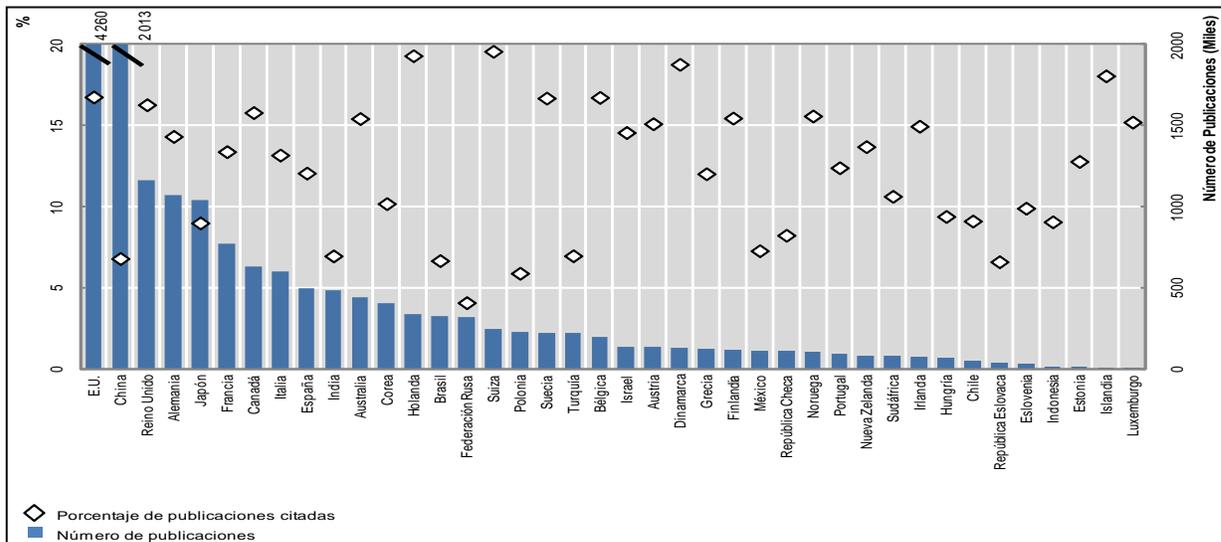
---

<sup>196</sup> La contabilización de las citas es un indicador que mide el impacto de un artículo sobre la comunidad científica o en la disciplina en que se desenvuelve, y en la mayoría de los casos se puede tomar como una referencia de calidad (CONACYT).

<sup>197</sup> Este es el indicador de la excelencia de la investigación, que consiste en publicaciones altamente citadas (10% de artículos más citados en cada campo científico). Las estimaciones se basan en el recuento completo de documentos de autores afiliados a algún organismo de cada economía (*OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2013*).

(doméstica e/o internacional), con excepciones como Estados Unidos que tiene un gran impacto pero baja colaboración o Indonesia con bajo impacto pero alta colaboración.

**GRÁFICA 2. CALIDAD Y CANTIDAD DE PUBLICACIONES CIENTÍFICAS 2003-2011**



Fuente: *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2013*.

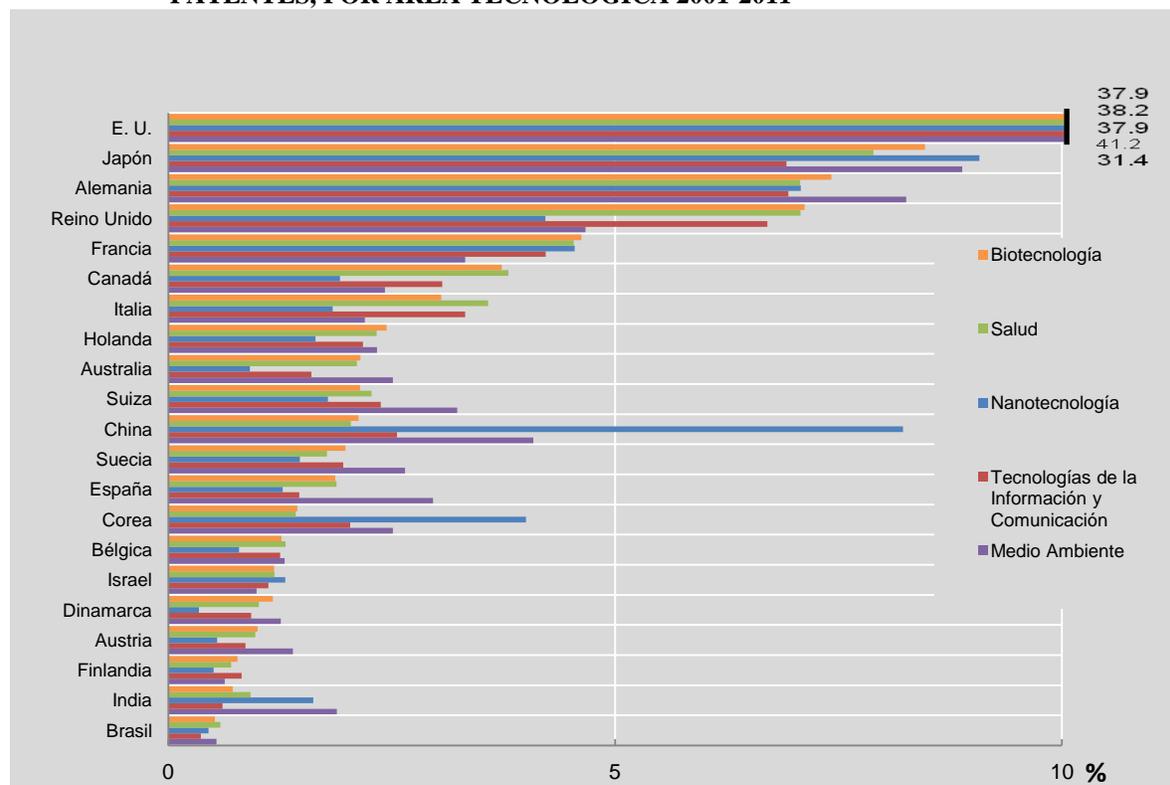
Un indicador interesante sobre la tendencia de la innovación tecnológica, es la referencia de documentos científicos en las patentes, revelando que los investigadores afiliados a instituciones con sede en Estados Unidos dan cuenta de más de la tercera parte de todos los documentos científicos citados en las patentes en áreas tales como biotecnología (37.9%), salud (38.2%), nanotecnología (37.9%), tecnologías de la información-comunicación (41.2%), y medio ambiente (31.4%) (véase gráfica 3). Respecto al campo de la salud en las dos últimas décadas en E. U., se ha incrementado el financiamiento en particular del Instituto Nacional de Salud a favor de la investigación de ciencias biológicas y biomédicas por el interés en enfermedades cardiovasculares, cáncer y otras condiciones médicas<sup>198</sup>. Cada país denota la especialización en sus áreas de investigación, China, Japón y Corea por ejemplo, muestran en gran parte su interés científico-tecnológico en las áreas de

<sup>198</sup> En el artículo “*The party’s over. But if you want to go to the after-party, it’s in Asia*” de la revista *The Economist*, se afirma que la investigación en biomedicina se está trasladando poco a poco de Europa y Norte América hacia el continente de Asia. En parte por la disminución del presupuesto del Instituto Nacional de Salud de Estados Unidos (el mayor patrocinador del mundo de la investigación biomédica) que era de 29 mil millones, 1.7 mil millones por debajo de la de 2012 y un 22% menos, en términos reales de hace una década. Japón y China por su parte han incrementado el gasto en este campo de investigación, madurando la industria farmacéutica japonesa y China ha confiado en el regreso de los investigadores entrenados en los laboratorios occidentales.

nanotecnología y medio ambiente. Mientras que Reino Unido tiene una base fuerte de investigación en biomedicina, con intensa inversión en I&D en el área farmacéutica y fuertes vínculos de colaboración con las universidades. Alemania por su parte concentra una intensa actividad de investigación en tecnologías del medio ambiente.

Es importante precisar que este indicador muestra la concentración en áreas de investigación de los países pero no siempre coincide con el impacto real en el proceso de innovación, por ejemplo en el caso de China, la investigación sobre la tecnología de vehículos limpios está muy avanzada pero todavía no del todo desarrollada en el aspecto industrial (Adams, Pendlebury y Stemberidge, 2013).

**GRÁFICA 3. PRINCIPALES FUENTES DE DOCUMENTOS CIENTÍFICOS CITADOS EN LAS PATENTES, POR ÁREA TECNOLÓGICA 2001-2011**



Fuente: *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2013*.

La participación de la región Asia-Pacífico en la producción de publicaciones científicas a nivel mundial se ha incrementado a lo largo del período de 2003-2011, conducido por Japón, Corea, Taiwán, Australia, India y especialmente China. Casi la mayoría de los países

de la región asiática iniciaron el incremento de la investigación en disciplinas fuertemente vinculadas con la manufactura doméstica (materiales e ingeniería), para posteriormente enfocarse en áreas de ciencias biológicas, medicina, medio ambiente y otras.

La producción de artículos científicos ha aumentado relativamente también en América Latina en términos de cantidad y calidad, en parte debido al número de publicaciones científicas producidas por Brasil que en el período 2003-2011, se posicionó en el catorceavo lugar en cantidad y calidad de documentos científicos (véase gráfica 2). El perfil de publicaciones de Brasil se inclina por la investigación de biocombustibles coincidiendo con la inversión en petroquímica y en el sector agrícola. México se ubicó durante el período de 2003-2011 en el veinticuatroavo lugar (véase gráfica 2) con 112 publicaciones científicas y una baja representación entre las publicaciones más citadas. En los últimos años, América Latina (principalmente Brasil, México y Argentina) ha seguido la tendencia mundial de orientarse a tecnologías emergentes y aplicaciones como las energías renovables, biotecnología, nanotecnología y tecnologías de la información, encontrándose la región en una etapa temprana de desarrollo con una exigua participación en publicaciones científicas y patentes.

### **Patentes a nivel mundial**

Las patentes son otro indicador tecnológico importante<sup>199</sup>, que reflejan la fuerza acumulativa del conocimiento y se formalizan en derechos de propiedad intelectual con vigencia usualmente de 20 años en el país o región donde se presentó la patente. En años recientes se ha tratado de acelerar la tramitación de los sistemas para patentar, emitiéndose varios instrumentos como por ejemplo, la Ley de Inventos Americana de E. U.<sup>200</sup>, el sistema de vía rápida de Reino Unido para aplicaciones de patentes totalmente nuevas, el

---

<sup>199</sup> Las patentes constituyen un indicador complicado de interpretar, ya que se presentan dificultades tales como no poder determinar cuáles han sido exitosas, es decir, cuáles se han convertido en innovaciones y cuáles son endógenas o sólo extensiones de la innovación generada en otra parte. También hay que tomar en cuenta que no todas las invenciones han sido patentadas.

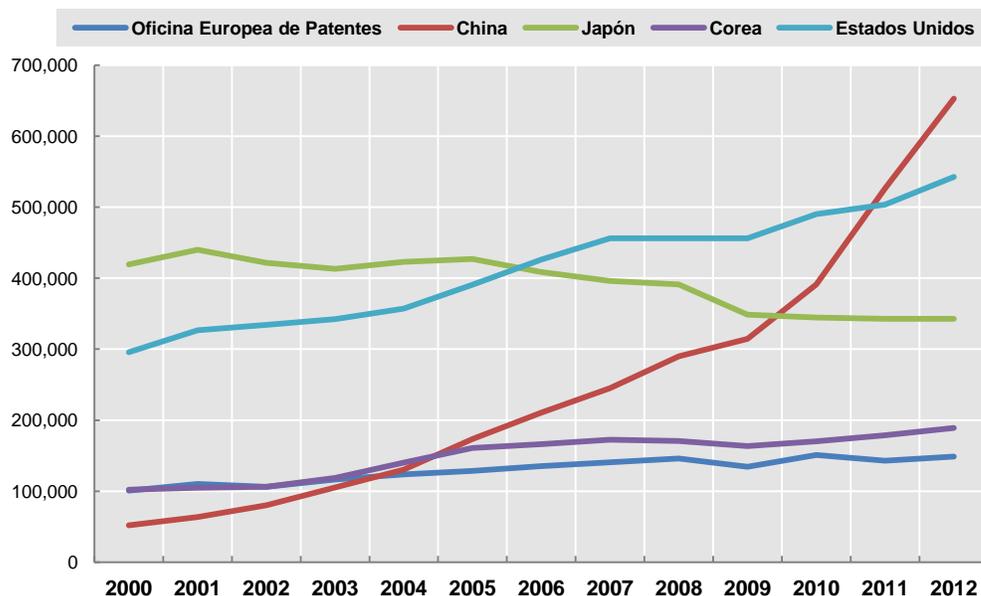
<sup>200</sup> Es una reforma del sistema de patentes desde 1952, adoptando el principio del “primer inventor en solicitar” y un sistema de oposición posterior a la concesión, destinada a revocarse al principio del proceso y en las patentes de costo relativamente bajo consideradas inválidas (*OECD Science, Technology and Industry Outlook 2012*).

aceleramiento en el proceso de revisión de países como Canadá y Japón, el progreso de la Unión Europea hacia una patente única, y otros. Países como Australia, Corea o Estados Unidos han establecidos fondos para la protección legal y conservación de los derechos de propiedad intelectual de las invenciones de instituciones públicas de investigación. Mientras que agencias de financiamiento nacional (p.e. *National Institutes for Health* en E. U., modelos de contratos de colaboración en Dinamarca o *Canada's Natural Science and Engineering Research Council*) y otras instituciones, se esfuerzan en desarrollar acuerdos de licencias estándar para invenciones académicas, y utilizar mecanismo de propiedad intelectual compartida como consorcio de patentes, centros de intercambio de patentes, y otros. Otros instrumentos se han dirigido al apoyo de pequeñas y medianas empresas en el proceso de comercialización de las innovaciones (p.e., el programa francés SATT para la creación de empresas que aceleren la transferencia de tecnología o la Red de Innovación de Japón).

En el año 2012, las principales oficinas donde se solicitaron patentes fueron China (652,777), Estados Unidos (542, 815), Japón (342,796), Corea (188,915) y la Oficina Europea de Patentes (148,560), que en conjunto representaron aproximadamente el 80% del total (véase gráfica 4). En el año 2011, la oficina de patentes de China superó a Estados Unidos al recibir más solicitudes, resultando más sorprendente porque los residentes presentaron  $\frac{3}{4}$  partes de las solicitudes totales (en Europa y América, aproximadamente la mitad de las solicitudes son presentadas por extranjeros), surgiendo la controversia de si este salto de innovación es más a causa de la subvención del gobierno y la relativa facilidad con la que se aprueban localmente en la oficina de patentes. Un dato interesante señala que los inventores chinos difícilmente buscan patentar sus ideas en el extranjero, registrándose que entre 2005 y 2009 menos del 5% lo llevo a cabo (*The Economist; January 5, 2013. How innovative is China? Valuing patents*). Mientras tanto la región de Asia ha dominado a lo largo del período 2000-2012, en las solicitudes y otorgamientos de patentes, señal de que la protección de los derechos de propiedad son activos estratégicos en la cartera de patentes de las empresas asiáticas como instrumento de negociación en el comercio internacional. Esta expansión de las patentes indica también una forma de evitar el incremento de costos por cuenta de la concesión de licencias y regalías (en China por ejemplo, el pago a las

empresas extranjeras se estimaba en 2010, en más de 10 mil millones de dólares, incrementándose 20% cada año); también es una forma de obligar a los extranjeros a la licencia local y como mecanismo para mejorar los términos en los acuerdos de licencia con empresas extranjeras (*The Economist*, September 30 de 2010. *Innovation in Asia, Trading Place. China is about to overtake Japan in patent applications*).

**GRÁFICA 4. SOLICITUDES DE PATENTES EN LAS PRINCIPALES OFICINAS DE PATENTES**



Fuente: *OECD Science, Technology and Industry Outlook 2012*.

**CUADRO 3. PATENTES A NIVEL MUNDIAL**

PATENTES A NIVEL MUNDIAL								
PATENTES SEGÚN LA REGIÓN	SOLICITUDES DE PATENTES (%)				PATENTES OTORGADAS (%)			
	2000	2004	2008	2012	2000	2004	2008	2012
Mundo	1,377,800	1,570,100	1,914,800	2,347,700	514,900	620,400	772,900	1,134,500
África	0.45	0.60	0.67	0.57	0.87	0.68	0.46	0.79
Asia	46.21	48.67	49.55	55.28	37.32	39.90	50.49	56.29
Europa	23.28	20.59	18.09	14.69	22.61	24.20	20.39	13.95
América Latina y el Caribe	3.46	2.67	2.94	2.53	1.92	1.50	2.21	1.75
América del Norte	24.35	25.17	26.03	24.62	32.94	28.59	22.83	24.24
Oceanía	2.11	1.87	1.68	1.43	3.52	2.95	1.95	2.12
Otros	0.14	0.42	1.05	0.88	0.80	2.18	1.67	0.86

Fuente: *WIPO IP Statistics Data Center*. Esta información incluye las patentes presentadas en todo el mundo a través del procedimiento del Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT) o en una oficina nacional de patentes por los derechos exclusivos sobre un invento (un producto o proceso que presenta una nueva manera de hacer algo o una nueva solución técnica a un problema).

Al rastrear geográficamente a las patentes se traza un mapa donde se destaca el surgimiento de focos de innovación en China y otras economías emergentes, así como la internacionalización de la innovación, indicio de una interacción más dinámica entre regiones y países (Informe sobre el Índice de Innovación de 2013 publicado por INSEAD-*The Business School for the World*, Universidad Cornell y la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual). Geográficamente la innovación tiende a concentrarse en focos donde se aglomeran las competencias *ad hoc* a una determinada especialización. A partir de la base de datos de patentes de la OECD se han identificado 10 regiones que dan cuenta de más del 50% del total de patentes especializadas en tecnologías de información y comunicaciones, dentro de las cuales se encuentran la tecnología MEMS o de los sistemas micro electromecánicos como parte de las microtecnologías. Las tres principales regiones son: el sur de Kanto (Japón), California (Estados Unidos) y la Provincia de Guangdong (China) con su respectiva participación de 16%, 11% y 6% (Primi, 2013). Una forma de detectar el grado de colaboración es a través de las co-inventores, revelando que en el sector de telecomunicaciones los residentes de California han solicitado la mayor proporción de patentes en conjunto con otro inventor nacional o extranjero. En cambio las regiones de Asia siguen patrones con una menor colaboración abierta dependiendo del sector (ya sea de telecomunicaciones, biotecnología o energías renovables), siendo más propensos a entablar colaboración dentro del mismo país, a causa de la proximidad geográfica o científica, afinidad lingüística o cultural, o quizá por razones económicas.

Por otro lado, el papel de América Latina<sup>201</sup> es totalmente marginal, participando en 2012 con 2.53% del total de patentes, al igual de lo que ocurre con la mayoría de los países de África (0.57%) y Oceanía (1.68%). Sin embargo se señala que países como Argentina, Brasil<sup>202</sup>, Chile y México (naciones que concentran el 90% del gasto en I&D de la región), se suman al interés de aplicar políticas que propicien la innovación. No obstante, sin ignorar sus debilidades, la región ha logrado alcanzar una posición destacada en la escena mundial en lo que respecta a algunas tecnologías de vanguardia. Brasil ocupa el décimo

---

<sup>201</sup> Este desempeño tan pobre obedece a que tanto la estructura económica como el marco jurídico de la región desincentivan el registro de patentes (UNESCO, *Science Report* 2010).

<sup>202</sup> Se considera a Brasil, como el país que cuenta con “una estructura institucional más adecuada para el fomento de la innovación”, que la de la mayoría de las demás naciones de la región (UNESCO, *Science Report* 2010).

octavo puesto mundial por el número de sus publicaciones sobre nanotecnología. Cuba por otra parte, se sitúa a la vanguardia de las tecnologías de producción de vacunas y ha conseguido erradicar enfermedades prevenibles utilizando la ciencia y la tecnología para el beneficio de la salud nacional. Costa Rica ha creado una industria de tecnología de la información de rango mundial, mientras que Brasil ha llegado a ser un país líder en el diseño de aviones a reacción y la transformación de la caña de azúcar en etanol para su uso como combustible de vehículos de motor. En general, se observa una falta de dinamismo en esta región a la hora de patentar, sugiriendo que América Latina está lejos de estar presente en la corriente dominante de la ciencia e incapaz de transformar el conocimiento en fuentes de innovación (UNESCO *Science Report* 2010).

Un portal de referencia en torno a las patentes es ***World Intellectual Property Organization*** (WIPO), agencia de la ONU en cuyo buscador PATENTSCOPE se puede encontrar una colección de solicitudes de patentes a nivel mundial en constante actualización y cuya información publicada se agrupa bajo la Clasificación Internacional de Patentes<sup>203</sup> (CIP). En una búsqueda específica sobre los MEMS (o *Microelectromechanical Systems*) en este portal, se encontró un registro de 17,469<sup>204</sup> solicitudes de patentes (consulta: 25 de enero de 2014) abarcando el período 2004- 2014, destacándose la siguiente información:

1) El país donde se ha solicitado la mayor parte de patentes de MEMS es en Estados Unidos (6,800), comprobando en forma más desglosada que los principales solicitantes son empresas globales en su mayoría de origen estadounidense (*Qualcomm MEMS Technologies, Honeywell International, Samsung Electronics, Intel Corporation, Texas Instruments, Analog Devices, International Business Machines Corporation, The Regents of the University of California*) australiano (*Silverbrook Research*) y francés (*Lucent Technologies*). El segundo país donde se concentra las solicitudes de patentes es China, que

---

<sup>203</sup> La Clasificación Internacional de Patentes (CIP), establecida por el Arreglo de Estrasburgo de 1971, constituye un sistema jerárquico de símbolos que no dependen de idioma alguno para la clasificación de las patentes y los modelos de utilidad con arreglo a los distintos sectores de la tecnología a los que pertenecen (WIPO).

<sup>204</sup> Los datos que se registran son fechas de publicación y fechas de solicitud de las patentes en las agencias nacionales. La fecha de concesión de las patentes o tiempo de revisión para el otorgamiento no están disponibles, pero el período en *United States Patent and Trademark Office's* (USPTO) es de 3 años en promedio y en *European Patent Office* (EPO) de cinco, existe casos que conllevan un tiempo de 10 años (WIPO).

a nivel más desagregado muestra que de las 2825 patentes, los siete principales solicitantes son dos empresas estadounidenses *Qualcomm MEMS Technologies* e *IDC, LLC* abarcando 7.3% y las restantes son cinco instituciones académicas chinas con una participación de 7.5% del total.

2) A nivel mundial los principales solicitantes han sido empresas estadounidenses tales como *Qualcomm MEMS Technologies*, empresa dedicada al diseño y fabricación de productos y servicios de telecomunicación inalámbrica digital; la empresa transnacional que produce una variedad de productos de consumo, servicios de ingeniería y sistemas aeroespaciales *Honeywell International*; y el proveedor global de subcontratación de servicios y soluciones con una amplia red de expertos *IDC, LLC*; y finalmente la empresa coreana que participa en la fabricación de componentes electrónicos, *Samsung Electronics*.

3) La aplicación de los MEMS es muy vasto, agrupándose principalmente bajo el código de la Clasificación Internacional de Patentes B81 o Tecnología de las Microestructuras (compuesta a su vez por los subgrupos B81B y B81C<sup>205</sup>) y H01-dispositivos semiconductores. Los principales inventores son estadounidenses, casi todos relacionados de alguna forma con la empresa *Qualcomm*: Clarence Chui Vicepresidente y Gerente General de *Qualcomm MEMS Technologies*; Miles Mark W., por ejemplo es cofundador de la empresa *Iridigm Display Corporation* de *Boston* (que se incubó en *Massachusetts Institute of Technology*) adquirida en 2004 por *Qualcomm*; Khotari Manish de origen hindú es Vicepresidente de Desarrollo de Producto de *Qualcomm India*; Jeffrey B. Sampsell y Brian J. Gally laboran en *Qualcomm*, California; Alok Govil de origen hindú actualmente trabaja en *Silicon Valley* en Los Gatos, California, pero fue líder de proyectos de la empresa *Qualcomm*; y por último Ahmadreza Rofougaran de origen iraní cofundador de la empresa *Innovent Systems Corporatio* que fue posteriormente adquirida por *Broadcom Corporation* (empresa especializada en soluciones de semiconductores).

---

<sup>205</sup> De acuerdo a la Clasificación Internacional de Patentes, B81B-Dispositivos o sistemas de microestructura, p. ej. dispositivos micromecánicos (elementos piezoeléctricos, electrostrictivos o magnetostrictivos); y B81C-Procedimientos o aparatos especialmente adaptados para la fabricación o el tratamiento de dispositivos o sistemas de microestructura (fabricación de microcápsulas o de microbolas; procedimientos o aparatos especialmente adaptados para la fabricación o elaboración de elementos piezoeléctricos o electrostrictivos o magnetostrictivos).

**CUADRO 4**

PATENTES SOLICITADAS DE MEMS A NIVEL MUNDIAL									
PAÍS	TOTAL DE PATENTES	PATENTES POR CAMPO DE LA TECNOLOGÍA	NO.	PRINCIPAL SOLICITANTE	NO.	PRINCIPAL INVENTOR	NO.	FECHA DE PUBLICACIÓN	NO.
Estados Unidos	6800	H01L	3936	QUALCOMM MEMS TECHNOLOGIES, INC. (E.U)	1295	Chui Clarence (E.U)	170	2004	1066
China	2825	B81B	3773	IDC, LLC (E.U)	331	Miles Mark W. (E.U)	71	2005	1202
PCT*	2673	G02B	3685	HONEYWELL INTERNATIONAL INC. (E. U)	393	Kothari Manish (E.U))	59	2006	1568
Oficina Europea de Patentes	1829	B81C	2445	SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD. (Corea)	158	Sampsel Jeffrey B. (E.U)	54	2007	1429
Japón	1578	H01H	1252			Silverbrook Kia (Australia)	49	2008	1521
Corea	1130	G01P	1013			Liao Xiaoping (China)	46	2009	1732
Canadá	357	H04R	731			Galy Brian J. (E.U)	40	2010	1746
México	64	G09G	686			Govil Alok (E.U)	38	2011	1766
España	45	G01C	662			Rofougaran Ahmadreza (E.U)	33	2012	1752
Singapur	36	H03H	608					2013	1586
Israel	35							2014	22
Brasil	34								
Federación Rusa	29								
Vietnam	25								
Sudáfrica	4								
Organización Eurasiática de Patentes	2								
Argentina	2								
Colombia	1								

**PCT\*:** Son las patentes solicitadas bajo el convenio del Tratado de Cooperación en materia internacional (PCT, siglas en ingles) administrado por la WIPO suscrito por más de 140 países parte en el Convenio de París. El PCT permite solicitar simultáneamente y en un gran número de países la protección de una invención por patente mediante la presentación de una única solicitud "internacional" de patente sin necesidad de presentar varias solicitudes de patente nacional o regional. La concesión de patentes sigue siendo competencia de las Oficinas nacionales o regionales de patentes en lo que se denomina la "fase nacional".

**H01L-**Dispositivos semiconductores; Dispositivos eléctricos de estado sólido no previstos en otro lugar.

**B81B-**Dispositivos o sistemas de microestructura, p. ej. Dispositivos micromecánicos (elementos piezoeléctricos, electrostrictivos o magnetstrictivos).

**G02B-**Elementos, sistemas o aparatos ópticos.

**B81C-**Procedimientos o aparatos especialmente adaptados para la fabricación o el tratamiento de dispositivos o sistemas de microestructura (fabricación de microcápsulas o de microbolas; procedimientos o aparatos especialmente adaptados para la fabricación o el tratamiento de elementos piezoeléctricos o electrostrictivos o magnetstrictivos).

**H01H-**Interruptores eléctrico; Reles; Selectores; Dispositivos de protección de emergencia (cables de contactoH01B 7/10; pararrayos resistivosH01G 9/18; circuitos de protección, de seguridadH02H; conmutación por medios electrónicos sin cierre de contactosH03K 17/00).

**G01P-**Medida de velocidades lineales o angulares, de la aceleración, deceleración o de coches; Indicación de la presencia, ausencia de movimiento; Indicación de dirección de movimiento.

**H04R-**Altavoces, micrófonos, cabezas de lectura para gramófonos o transductores acústicoelectromecánicos análogos; Aparatos para sordos; Sistemas para anuncios en público.

**G09G-**Disposiciones o circuitos para el controles de dispositivos de presentación que utilizan medios estáticos para presentar una información variable (dispositivos de transferencia de datos entre computadores y pantallas digitales G06F 3/14 ; dispositivos de representación estáticos realizados por la asociación disociable de varias fuentes individuales o de varias celdas individuales que controlan la luz G09F 9/00 ; dispositivos de representación estáticos realizados por la asociación constructiva indisociable de varias fuentes de luz H01J , H01K , H01L , H05B 33/12 ; digitalización, transmisión o reproducción de documentos o similares p. ej. transmisión por fax o detalles del mismo H04N 1/00 ).

**G01C-**Medidas de distancia, niveles o rumbos; Topografía ; Navegación; Instrumentos de giroscopios; Fotogrametría o Videogrametría (medida del nivel de líquidosG01F; radio navegación, determinación de la distancia o velocidad mediante la utilización de efectos de propagación, p. ej. efecto Doppler, tiempo de propagación, de ondas de radio, disposiciones análogas que utilicen otras ondas G01S).

**H03H-**Redes de impedancia p. ej. Circuitos resonantes; Resonadores (medidas, ensayos G01R; disposiciones para producir una reverberación sonora o un eco G10K 15/08; redes de impedancia o resonadores que se componen de impedancias distribuidas, p. ej. del tipo guía de ondas, H01P; control de la amplificación, p. ej. control del ancho de banda de los amplificadores, H03G; sintonización de circuitos resonantes, p. ej. sintonización de circuitos resonantes acoplados, H03J; redes para modificar las características de frecuencia de sistemas de comunicación H04B).

Fuente: *World Intellectual Property Organization (WIPO), PATENTSCOPE.*

A la lista de los principales inventores en aplicaciones de MEMS se agrega Silver Kia fundador de la empresa australiana *Silverbrook Research Pty Ltd.* y el inventor chino Liao Xiaoping de la Universidad del Sureste.

### **3.2 Panorama general de la economía en México**

El punto de inflexión respecto al rumbo de la economía mexicana hacia un modelo más abierto se dio en la década de 1980s, cuando el gobierno mexicano y el Fondo Monetario Internacional (FMI)<sup>206</sup> acordaron una serie de reformas que incluía limitaciones al uso de la política monetaria y fiscal, para asegurar una menor intervención estatal con una reducción del gasto público y garantizar finanzas sanas, junto a una mayor privatización y desregulación. La política monetaria restrictiva tenía la finalidad de mantener la estabilidad de los precios y el control sobre la cuenta corriente; por otro lado, la política fiscal se aplicó a recortar el déficit fiscal de 8.5 a 5.5% del PIB, mediante la reducción de gasto público y el aumento de impuestos directos e indirectos, así como el incremento en los precios de bienes y servicios suministrados por el sector público.

Desde los ajustes asumidos en los compromisos con el FMI hasta la fecha, el desempeño de la economía mexicana ha sido bastante decepcionante, con tasas de crecimiento ralentizadas que alcanzó en 2013 un crecimiento del PIB de 1.4%; una caída constante de los salario reales y del consumo doméstico; un agudo problema de desempleo y de acuerdo a datos del Banco Mundial, con más de la mitad de la población mexicana (52.3%) viviendo por debajo de la línea de pobreza. Los magros resultados de este modelo de economía abierta han suscitado debates con respecto al costo social y al deterioro de la capacidad productiva del país, infiriéndose que existen contradicciones estructurales dentro del modelo que se convierten en puntos vulnerables.

---

<sup>206</sup> México se había declarado en moratoria en un contexto de incremento en las tasas de interés de los mercados financieros internacionales. Se suspendió el pago de deuda externa como resultado de una política fiscal irresponsable, cuyo superávit provenía de los ingresos petroleros y cuya expectativa sobre sus precios se pensaban continuaría en una tendencia ascendente. México renegoció una deuda con el FMI de 23 mil millones de dólares, la amortización de los términos de seis a diez años y la reducción de la tasa de interés libor de 2.5 a 1.5 puntos, y de 2.2 a 1.2 puntos de la tasa preferencial de E.U.(Nadal, 2003).

La política fiscal de finanzas sanas con el fin de reducir el endeudamiento público, es un paradigma que distorsiona la función del Estado, en el sentido de que la reducción del gasto público ha afectado rubros estratégicos tales como educación, “ciencia y tecnología” e infraestructura. Por otro lado, la política monetaria restrictiva posiblemente controle la inflación pero a costa de la demanda agregada, cuya contención es resultado del estancamiento del salario real.

Mientras que la desregulación financiera ha contribuido a que la economía mexicana se tornara más dependiente de los capitales externos<sup>207</sup>, manteniendo sobrevaluado la moneda, cuyos efectos negativos se resintieron fuertemente en la crisis de 1994<sup>208</sup>. La apreciación del tipo de cambio en un contexto de liberación comercial indiscriminada tuvo también efectos negativos en la balanza comercial<sup>209</sup>, sosteniendo artificialmente a las importaciones y encareciendo a las exportaciones, con la consiguiente contracción en la producción y demanda doméstica. El momento culminante del proceso de liberación comercial en México tuvo lugar con el TLCAN en 1994, cuya evaluación después de veinte años no es muy halagüeña puesto que en retrospectiva: se dismantelaron varias ramas del sistema productivo (el agrícola fue el de los más afectados); mientras el sector exportador creció pero de forma inarticulada con el sector doméstico (no se crearon eslabonamientos productivos hacia adelante y hacia atrás); el destino y contenido de las exportaciones es muy sesgado (aproximadamente 80% se envían a E. U y la mayoría son exportaciones de

---

<sup>207</sup> Alejandro Nadal explica que la liberalización financiera en el modelo de economía abierta implica la eliminación de las barreras al libre flujo de capitales o desregulación, con el fin de captar el ahorro externo que impulse el crecimiento económico. La movilidad de capital permite a los inversionistas de cartera desplazar sus activos a mercados donde se les ofrece una tasa de interés con mayor rentabilidad, vulnerabilidad que bajo motivaciones especulativas pueden generar fuga de capitales, presentándose dos posibles escenarios: 1) si en el país existe un régimen de paridad fija o semi-fija, las autoridades monetarias se ven obligadas a utilizar las reservas para sostener el tipo de cambio, y en caso de que las reservas se agoten puede derivarse en una crisis devaluatoria; 2) en un país con un tipo de cambio flexible, la paridad se devalúa automáticamente, perdiendo la moneda local su atractivo como reserva de valor, induciendo a que las autoridades monetarias aumenten la tasa de interés para evitar la salida de capitales. De manera que dentro de una economía nacional, el peso de la capacidad de arbitraje de los inversionistas de cartera socava la capacidad de decisión del Estado en la regulación de la “tasa de interés y el tipo de cambio”.

<sup>208</sup> El gobierno mexicano en 1995 llegó a un acuerdo con el FMI para alcanzar dos metas: el ajuste de las cuentas externas y la estabilización de los principales agregados macroeconómicos. El paquete de rescate de tenía como objetivo pagar la deuda a corto plazo e impedir un impago de la deuda pendiente (Nadal, 2009).

<sup>209</sup> En el Tratado de libre Comercio de América del Norte (TLCAN) de 1994 se incorporó una cláusula (artículo 2104) que prohíbe recurrir a controles del flujo comercial (cuotas, sobretasas arancelarias, permisos de importación, etc.). Bajo estas circunstancias significa que la balanza de pagos no podría ajustarse a través del tipo de cambio.

origen maquilador y petróleo); aunque creció la Inversión Extranjera Directa, esta consistió en buena medida en fusiones y adquisiciones, y no se tradujo en un “esquema de transferencia significativa de tecnología” (Nadal, 2001, 2009 y 2011). Todos estos factores y otros en combinación, han sumido al país en un estado de estancamiento económico y pendiendo de un equilibrio muy frágil ante las volatilidad externa.

### **3.2.1 Política de ciencia y tecnología en México, enfocándola a la industria electrónica**

Los antecedentes de la política de ciencia y tecnología en México se remontan desde los años 30s, capturando desde entonces una serie de ideas, propuestas y concepciones por diversos actores (científicos, gobierno, empresas) concentrados en el objetivo nacional de lograr la independencia tecnológica. La percepción general de estas iniciativas es la falta de continuidad para integrar una propuesta articulada, consensuada por los distintos actores sociales y cuya instrumentación se establezca dentro de un proyecto nacional orientado a las necesidades socioeconómicas del país con una visión de largo plazo (Casas y Dettmer, 2007:137, Foro Consultivo de Ciencia y Tecnología).

Desde la creación en 1970 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)<sup>210</sup> como organismo descentralizado de la Administración Pública, esta institución se encarga de planear, coordinar y evaluar la política gubernamental en materia de ciencia y tecnología, constituyéndose como un instrumento para el progreso nacional. El CONACYT marcó el momento decisivo de la institucionalización de la política de ciencia y tecnología en México, dirigiendo también un cambio de percepción sobre la ciencia como promotora del progreso hacia una cultura académica<sup>211</sup> preocupada por el avance de la ciencia. Esta visión coincidía con el enfoque dominante a nivel internacional, cuyo objetivo era

---

<sup>210</sup> Un organismo antecesor con función similar fue el Instituto Nacional de Investigación Científica (INIC) creado en 1950. Los recursos económicos disponibles para el INIC fueron modestos, alrededor de 10 millones de pesos de ese entonces, sin incrementarse en los siguientes 20 años posteriores a su fundación. Además no intervenía en la investigación aplicada y no tenía la facultad de promover y coordinar programas de investigación (Foro Consultivo de Ciencia y Tecnología).

<sup>211</sup> La cultura académica es una conceptualización que distinguen Elzinga y Jamison con respecto a la visión que domina entre políticas de ciencia y tecnología (cultura de la vida burocrática, cultura académica, cultura económica y cultura cívica). En este caso, la preocupación de la cultura académica gira en torno a los recursos para el desarrollo de la ciencia y la preservación de las normas tradicionales de autonomía, integridad, objetividad y control sobre los fondos y la organización (Casas y Dettmer, 2007:140).

incrementar la oferta de ciencia y tecnología para impulsar el desarrollo tecnológico (Casas y Dettmer, 2007:145). A partir de 1976 se publicó el primer Plan Nacional de Ciencia y Tecnología elaborándose desde entonces otros cinco, concebido con la participación de investigadores, industriales y funcionarios públicos (Foro Consultivo de Ciencia y Tecnología).

Entre las décadas de 1980s y 1990s, en la política de ciencia y tecnología prevaleció una actitud más pragmática intentando vincular la oferta y la demanda, iniciativa que se expresó en la llamada “estrategia de autodeterminación” del gobierno de José López Portillo (1976-1982). Los ajustes de política social y económica derivados de la crisis de 1982, influyó en una visión de política hacia un modelo de desarrollo científico y tecnológico aplicado a la resolución de necesidades sociales del país a corto y largo plazo, lo cual implicaba una cooperación compleja entre diversos actores, instituciones y procesos<sup>212</sup>. Hacia los años 90s en México se experimentó diversas transformaciones que obedecieron a diferentes factores externos e internos: en el plano externo dominó la idea de que el conocimiento científico y la innovación tecnológica es una herramienta fundamental para adquirir ventajas comparativas entre los países, mientras que en el plano nacional el modelo de crecimiento se encaminó a la apertura comercial y modernización industrial que requería la incorporación de recursos humanos altamente calificados en el ámbito científico-tecnológico. Mientras que en el ámbito público se favoreció un ambiente a favor del fomento productivo y la capacidad innovadora de las empresas (a través de SECOFI, NAFIN y BANCOMEXT) alineándose a una cultura de mejoramiento de la calidad, certificación de productos y procesos, así como asesoría adecuada para conformar programas de proveedores (Casalet, 2007:247).

Bajo estas circunstancias se trazaron las políticas de promoción de la industria electrónica a nivel federal más importantes: el Programa para la Promoción de Equipos de Cómputo, Modulares y Periféricos o Plan Calcul en la década de los 80s, que pretendía promover la

---

<sup>212</sup> Es importante entender, que este paradigma requiere un nivel de consenso logrado únicamente en países donde la participación de los diversos actores de la sociedad civil constituyen un elemento cultural dinámico que impulsa iniciativas desde abajo con el involucramiento ciudadano y las promueven desde arriba con los representantes de la sociedad, características de sociedades como la holandesa, danesa, inglesa y alemana (Casas y Dettmer, 2007:142).

producción de microcomputadoras con alto contenido nacional<sup>213</sup> y un direccionamiento más deliberado de la industria electrónica hacia el sector exportador, impulsado principalmente por el sistema maquilador y el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), con un intenso proceso de liberalización arancelaria, al reducir paulatinamente la tarifa aduanal de 20% en la industria de la computación a una tasa prácticamente nula en enero de 1994 (Dussel Peters, 2003: 223/b, Secretaría de Economía, 2002). En el gobierno de Ernesto Zedillo (1994-2000), se introdujo por primera vez el Plan para el Desarrollo de la Informática (PDI) con el objetivo de desarrollar las capacidades nacionales en las Tecnologías de la Información (TI), enfrentando serios problemas de financiamiento y coordinación entre las instituciones involucradas (Gutiérrez, 2007:72). En este período se apoyó la formación de recursos humanos e investigación básica, así como al desarrollo de los sistemas regionales de investigación pero sin ningún plan preconcebido y ajeno a la modernización tecnológica. Al mismo tiempo, se trato de estimular la demanda por el lado de las empresas, en el sentido de modernizar la planta productiva a nivel tecnológico pero sin un apoyo de financiamiento real, ya que del presupuesto del CONACYT que se destinaba a este rubro sólo era el 8.6%. Hubo un intento de coordinar esfuerzos por ambos lados de la oferta y la demanda pero sin lograr una integración funcional, con algunas excepciones a nivel regional, a cargo de la Dirección General Adjunta de Desarrollo Tecnológico Regional, concentrando recursos en proyectos potenciales con relativo éxito. Para este período, se observaba un sector electrónico orientado a la producción de bienes finales con ausencia de eslabones productivos hacia atrás en la economía nacional (Ordóñez y Dabat, 2009).

Con la pérdida gradual de competitividad de la industria electrónica en forma más evidente a raíz de la crisis de 2001, la estrategia de la administración pública federal se concentró en fijar prioridades y objetivos específicos para impulsar el desarrollo y crecimiento sostenido de la industria electrónica en el “Programa para la Competitividad de la Industria Electrónica y de Alta Tecnología” (PCIEAT) dentro del Plan Nacional de Desarrollo (PND)

---

<sup>213</sup> El plan Calcul se desarrollo en dos versiones: la primera, elaborada en 1981 tenía como fin, dar prioridad a la participación obligatoria de capital nacional (51%) en la búsqueda de una estrecha integración del sector a la economía nacional y el desarrollo de tecnología propia, y en su segunda versión en 1985, trazaba sus directrices sobre el desarrollo de la productividad y la competencia industrial, dejando en último plano los objetivos de la primera versión (Ordóñez y Dabat, 2009).

2001-2006. El PCIEAT pretendía lograr en el período de 2002-2010 un incremento de las exportaciones de 42,971 millones de dólares en 2001 a 80,000 para el año 2010; la generación de 60,000 nuevos empleos directos e indirectos y el aumento de 12% en el valor agregado. Al mismo tiempo, se buscaba la consolidación de tecnologías que permitieran la transición de la fabricación de productos análogos (baja tecnología) hacia tecnologías digitales (alta tecnología) <sup>214</sup> (Secretaría de Economía, 2002; Gutiérrez, 2007). En este período básicamente han operado dos instrumentos para promover la I&D así como la innovación de las empresas en la industria electrónica:

1) Un estímulo fiscal que consistía en un crédito de 30% a las empresas que emprendieran proyectos de I&D de tecnología y;

2) Los Fondos Mixtos (FOMIX) y Sectoriales: a) Los Fondos Mixtos son un instrumento para el desarrollo científico y tecnológico regional, estatal y municipal, que permiten la concentración de recursos tanto de los gobiernos estatales y municipales como del CONACYT, con el propósito de destinar recursos a investigaciones científicas y desarrollos tecnológicos orientados a resolver problemas identificados por los estados o municipios; b) Los Fondos Sectoriales son fideicomisos que las dependencias y las entidades de la Administración Pública Federal conjuntamente con el CONACYT pueden constituir para destinar recursos a la investigación científica y al desarrollo tecnológico en el ámbito sectorial correspondiente.

Paralelamente en el Programa Especial de Ciencias y Tecnología (PECyT) de 2001-2006, se discutió la idea de descentralizar la ciencia y tecnología en un conjunto de sistemas de innovación regional, así como el diseño de programas sectoriales estratégicos que requerían

---

<sup>214</sup> El plan se dividió en dos estrategias de corto plazo, y de mediano y largo plazo. La primera estrategia se centró en el impulso inmediato del desarrollo de condiciones de competitividad, con el establecimiento de una política fiscal promotora de inversiones, mediante el ITA-Plus que desgrava o permite la importación con exención del arancel en más de 280 fracciones de la industria electrónica; y el Programa de Promoción Sectorial (PROSEC) permitiendo el acceso a materias primas, insumos y componentes que no existan en la producción nacional y/o que su producción en el país no sea posible a corto plazo; además de solucionar las incongruencias arancelarias, el fortalecimiento de una cadena productiva de alta tecnología, desarrollo de una estrategia arancelaria competitiva, promoción del comercio exterior mediante un moderno sistema aduanal y adecuación del marco normativo y regulatorio. La segunda estrategia se enfocó en cinco puntos específicos: 1) desarrollo de cadena de proveeduría; 2) promoción del desarrollo tecnológico; 3) impulso del factor humano; 4) desarrollo de una infraestructura adecuada de transporte y comunicaciones y; 5) el desarrollo de un entorno macroeconómico competitivo (Secretaría de Economía, 2002).

selectivamente del conocimiento de ciertas áreas tecnológicas, y en último término, de la necesidad de un sistema científico y tecnológico integrador tanto de la oferta y la demanda, conformado en una red de cooperación impulsado por ambos lados. Para su efecto se expidió en 2002 una nueva Ley de Ciencia y Tecnología, adjudicando al CONACYT la función de asesorar al ejecutivo federal para articular las políticas públicas del Gobierno Federal y promover el desarrollo de la investigación científica y tecnológica, la innovación, el desarrollo y la modernización tecnológica del país<sup>215</sup>. Además se propuso la constitución de un Foro Consultivo Científico y Tecnológico que promoviera la expresión de la comunidad científica para inducir políticas públicas y programas de ciencia y tecnología consensuadas por especialistas de este foro, que pertenecieran a sociedades civiles y universidades públicas. El principal problema al que se enfrentó la instrumentación de este programa fue la distribución de los recursos, pese a que en ese período se incrementara el presupuesto federal destinado a ciencia y tecnología, así como los fondos disponibles por el CONACYT (Casas y Dettmer, 2007).

En el Plan Nacional de Desarrollo (PND) de 2007-2012, se enfatizó la necesidad de vinculación e interacción entre todos los agentes, un mayor financiamiento para la investigación y la creciente participación del sector productivo, así como el impulso a la formación de recursos humanos especializados. Se realizó un cambio fundamental en la constitución de los Fondos CONACYT, permitiendo al Consejo interactuar tanto con las secretarías de Estado, los gobiernos estatales y las entidades federales, las instituciones del ámbito académico y científico, y las empresas privadas. Para dar impulso a la innovación de las empresas se conformó la Dirección Adjunta de Desarrollo Tecnológico y Negocios de Innovación, cuyo objetivo central era integrar alianzas estratégicas entre diferentes actores, facilitando la vinculación industria y academia, mediante diversos programas, apoyos y proyectos. Su principal instrumento es el Programa de Estímulos a la Innovación

---

<sup>215</sup> En el artículo 30 de esta Ley, se estableció textualmente que “el CONACYT promovería la conformación y el funcionamiento de una Red Nacional de Grupos y Centros de Investigación. Dicha Red tendría por objeto definir estrategias y programas conjuntos, articular acciones, potenciar recursos humanos y financieros, optimizar infraestructura, propiciar intercambios y concentrar esfuerzos en áreas relevantes para el desarrollo nacional, así como formular estudios y programas orientados a incentivar la profesión de investigación, fortalecer y multiplicar grupos de investigadores y fomentar la movilidad entre éstos; proponer la creación de nuevos grupos y centros y crear redes en áreas estratégicas del conocimiento” (Ley de Ciencia y Tecnología, 2002; Diario Oficial de la Federación del 5 de junio de 2002).

(PEI), que opera en tres modalidades: Innovación Tecnológica de Alto Valor Agregado (INNOVAPYME), Innovación Tecnológica para la Competitividad (INNOVATEC) e Innovación en Tecnologías Precursoras (PROINNOVA). Otros programas son los Fondos Sectoriales y el programa Alianzas Estratégicas y Redes de Innovación (AERIS). El programa AERIS surgió en 2007 como recomendación del Banco Mundial para apoyar la formación de redes, impulsando hasta la fecha 48 redes en diversas industrias, entre las cuales se encuentra la AERI-MEMS<sup>216</sup>. Otro instrumento para fomentar la sinergia entre el sector productivo y los diferentes actores del sistema de ciencia y tecnología, fueron los estímulos fiscales que se otorgaron a las empresas que realizaban proyectos de desarrollo de productos, materiales y procesos de producción, I&D de tecnología, gastos en formación de personal de I&D, que se consideraban estrictamente indispensables para la consecución de dichos proyectos. El premio consistía en un crédito fiscal de hasta 30% del desarrollo tecnológico, siempre y cuando estuviera dentro del techo presupuestal y se pagara impuestos sobre la renta. Para acceder al programa, se debía estar inscrito en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT)<sup>217</sup>. Los Estímulos Fiscales de Investigación y Desarrollo Tecnológico han sido suspendidos desde el 2008, habiéndose invertido 15,000 millones de pesos entre 2001 y 2008<sup>218</sup>.

Algunas empresas dedican recursos a la innovación y casi todas implementan programas de mejora continua para subsistir. Pero las empresas transnacionales y en las grandes paraestatales se hace poca innovación, disponiendo de tecnologías muy sofisticadas que no dominan bien y sin mecanismos que incentiven esa asimilación. La innovación de alto contenido tecnológico proviene casi siempre de la universidad, pero se dificulta implementarla en la empresa. Para facilitar la detección de oportunidades comerciales con

---

<sup>216</sup> Información proporcionada por el M. de A. Luis Martínez Jiménez del área de Negocios de Innovación y Redes de innovación (AERIS) de CONACYT.

<sup>217</sup> Es un instrumento de apoyo a la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación del país a cargo de CONACYT, a través del cual se identifica las instituciones, centros, organismos, empresas y personas de todos los sectores que llevan a cabo actividades relacionadas con la investigación y el desarrollo de la ciencia y tecnología en México (CONACYT).

<sup>218</sup> En realidad de los 15,000 millones de pesos las empresas sólo pudieron acreditar la mitad, pero luego de un estudio de impacto se vio que los beneficios eran muy importantes. El Colegio de México hizo un análisis muy riguroso, donde comparo a cerca de 5000 empresas que tuvieron estímulos fiscales contra 5,000 que no lo tuvieron. Las empresas de ambos grupos crecieron, pero las que tuvieron estímulos invirtieron tres veces más en desarrollo tecnológico. Además empresas como MABE Y NEMAC crearon sus centros de investigación gracias a éste estímulo (FUMEC, Boletín Septiembre 2010).

descubrimientos realizados en las universidades, se han constituido las Unidades de Vinculación y Transferencia de Conocimiento (UVTC), que son entes intermedios entre las universidades y las empresas. Una vez detectados estos descubrimientos, se hace un análisis del potencial económico y se identifican posibles nichos de mercado, fabricando prototipos y mostrándolos a potenciales compradores<sup>219</sup> (FUMEC, Boletín Septiembre 2010).

### **3.2.2 Política de ciencia y tecnología de México en los Sistemas Micro Electromecánicos o MEMS**

La importancia de los MEMS se manifiesta en México desde el año 2002, cuando la Secretaria de Economía y la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC<sup>220</sup>) gestionaron la creación de la Red MEMS, con la participación de los sectores académico, empresarial y de gobierno. En una primera etapa se crearon doce centros de diseño en distintas universidades ubicadas en diez estados de la república mexicana y posteriormente, se planeó la construcción de cuatro laboratorios de innovación que conformaran la cadena de valor, con una inversión aproximada de 100 millones de pesos en un período de tres años. El objetivo fue desde entonces la construcción de un Plataforma Nacional de Producción de MEMS, para realizar la conceptualización y diseño en diversos centros de investigación; caracterización<sup>221</sup> en la Universidad Nacional Autónoma de México y, el Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología (MICRONA) de la Universidad de Veracruz; fabricación de prototipos en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE); encapsulamiento en la Universidad Autónoma de Ciudad

---

<sup>219</sup> Este camino se llama el camino de la muerte, porque de 1000 proyectos sólo se consolidan 2 o 3, pero suficientes para que el esfuerzo valga la pena. Dos ejemplos son *Microsoft* y *Google*. La Universidad de *Stanford* que cuentan con estos entes intermedios, obtienen 10% de las acciones de *Google*. En la universidad de Florida tienen a *Gatorade* y la universidad gana por las ventas mundiales de esta bebida. El Dr. Leonardo Río Guerrero considera que si las universidades generan valor para la innovación, la ciencia podría ser un gran negocio (FUMEC, Boletín Septiembre 2010).

<sup>220</sup> La Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC) es una organización no gubernamental creada previamente a la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, a partir de un acuerdo binacional con el fin de promover y apoyar la colaboración en ciencia y tecnología entre los dos países. Tiene su origen en 1993 con la misión de promover la colaboración binacional en ciencia y tecnología para resolver problemas y abordar oportunidades comunes entre México y los Estados Unidos. Su portafolio de proyectos está dividido en tres grandes áreas: enseñanza de la ciencia, medio ambiente y salud, y desarrollo de empresas innovadoras de base tecnológica, programa TechBa (FUMEC).

<sup>221</sup> Caracterización, significa garantizar que los mecanismos diseñados para cada sistema micro electromecánico ejecuten sus funciones de manera correcta, bajo la simulación de las condiciones ambientales en las que trabajarían en su aplicación comercial o industrial.

Juárez; y por último las pruebas y validación<sup>222</sup> en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. La idea principal era racionalizar los recursos para conformar una infraestructura de colaboración nacional que eventualmente ejecutara todas las etapas, sin embargo hasta la fecha la mayoría de estas tareas son realizadas en el extranjero a elevados costos (ver diagrama 1).

DIAGRAMA 1



Fuente: Dr. José Mireles Jr. García; Jefe del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Aplicada (CICTA). “Estado del Arte de los MEMS (Sistemas Micro-Electro-Mecánicos), y su estado actual en México”. Presentación en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; Febrero 19, 2010.

Los centros de investigación de las universidades han jugado un papel fundamental en la Red MEMS, pues además de generar recursos humanos especializados en el área, han puesto en marcha los centros de diseño y modelado de MEMS, donde se conciben los dispositivos y sus funciones para diversas aplicaciones industriales, científicas o educativas. En función de contribuir a la formación de recursos humanos en el diseño de MEMS, se implementó desde 2009 con el apoyo de un Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECyT) de aproximadamente 17 millones de pesos, el Programa Nacional para el Diseño y Fabricación de Prototipos MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) en lo sucesivo llamado Programa MEMS-

<sup>222</sup> Para la validación dimensional (calidad dimensional) y funcional (eficiencia mecánica y eléctrica) del producto se requiere de un laboratorio especial que verifica si el dispositivo cumple con las normas nacionales e internacionales.

México, cuyo objetivo ha sido la difusión y asimilación del software SUMMIT-V<sup>223</sup> de Sandia National Laboratories (SNL), herramienta que se adecua a las reglas de diseño de esta institución<sup>224</sup>, en varias universidades y centros de investigación mexicanas<sup>225</sup>. Los paquetes de *software* con licencia permanente pueden ser operados en 30 computadoras por institución con propósitos educativos, y fueron adquiridos a costo reducido. La ventaja de este proyecto es el aspecto altamente didáctico para los estudiantes que tienen la posibilidad de simultáneamente realizar sus prácticas durante la clase. El acuerdo contempla también la fabricación de prototipos en las instalaciones de SNL a costos relativamente bajos, con el compromiso de respetar la propiedad intelectual del diseño. También se está dedicando parte del esfuerzo y presupuesto a equipar a las universidades participantes con un *software* para el análisis matemático de todas las estructuras, necesario para asegurar el funcionamiento óptimo de los dispositivos MEMS. Un ofrecimiento especial de SNL para ayudar a la implementación de concursos nacionales de diseño de MEMS en México, es la posibilidad de que 8 módulos (o diseños finales) diferentes en un lote entero de obleas (once por lote) se fabriquen a un costo de entre \$100,000 a \$120,000 dólares, incluyendo el asesoramiento para lograr módulos funcionales, mascarillas, procesamiento, costo de

---

<sup>223223</sup> Este *software* de diseño permite construir en cinco capas semiconductoras de silicio policristalino alternadas con capas de dióxido de silicio de sacrificio para proveer separación física entre las capas de polisilicio. El *software* trabaja como una adición a AutoCAD (programa bastante popular entre diseñadores de sistemas estructurales) que permite el diseño de un gran número y variedad de estructuras mecánicas, eléctricas, metrológicas y ópticas. La plataforma también permite identificar cualquier conflicto estructural en los diseños cuando éstos se revisan con la herramienta DRC (*Design-Rules-Checker*) en la supercomputadora de Sandia, accesible electrónicamente por todo usuario autorizado. También cuenta con buenos visualizadores que permiten ver los prototipos diseñados antes de su fabricación a través de modelos gráficos en 2D y 3D, muy cercanos a la forma que los prototipos tendrán una vez que se fabriquen. Este programa puede proporcionar también un modelo tridimensional, propio para su modelado y análisis con elementos finitos. El programa SUMMIT-V está disponible únicamente para universidades, centros de investigación e industrias certificadas en los EEUU, una vez que se establecen los correspondientes acuerdos con esta institución (Estrada, Mireles, Villa, Murphy, Torres y García; 2009).

<sup>224</sup> Las reglas dependen de la habilidad o limitaciones de los laboratorios para el proceso de fabricación de los MEMS.

<sup>225</sup> El Programa Nacional MEMS fue propuesto e iniciado por seis instituciones, el Centro Nacional de Metrología, la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, el Instituto Politécnico Nacional, el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, la Universidad Nacional Autónoma de México en Juriquilla, y la Universidad Veracruzana (CENAM, UACJ, IPN, INAOE, UNAM-Juriquilla, y UV), integrando cinco regiones del país en un programa en el que se aborda un tema de gran relevancia para México. Como resultado de la difusión del objetivo y del trabajo, en el segundo año otras cinco instituciones se interesaron en formar parte del Programa Nacional MEMS: el Centro de Investigación y Estudios Avanzados-Unidad Guadalajara, la Universidad de Guadalajara, la Universidad de Guanajuato-Campus Salamanca, el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, y el Instituto Tecnológico de Cajeme-Ciudad Obregón, (CINVESTAV-GDL, UDG, UG-Salamanca, CIDESI e ITESCA), a la fecha participan alrededor de 11 instituciones. Se está considerando integrarse otras instituciones al Programa.

fabricación y separación de *chips*. Las universidades recibirían 100 *chips* (90 *chips* sin óxido de sacrificio y 10 con óxido de sacrificio), por diseño.

Un estímulo dirigido específicamente a la vinculación entre el sector académico y las empresas interesadas en la tecnología MEMS, fue el programa Alianza Estratégica de Redes de Innovación para la Competitividad o AERI-MEMS perteneciente al programa AVANCE del Fondo Institucional de Tecnología del CONACYT. Este programa fue una propuesta que surgió en 2007 del Consorcio Mexicano de Microsistemas (CMM)<sup>226</sup>, *spin-off* u organización derivada de la FUMEC, siendo su objetivo elaborar un plan estratégico y establecer bases de colaboración dentro de la red MEMS. La formación de esta red se realizó en dos fases: en la primera se contó con un monto de 500,000 pesos para formalizarse, y en una segunda fase con un monto de 1.5 millones se destinó para diversos proyectos. Desafortunadamente este programa no otorgó suficientes recursos para implementar los objetivos y no se contempló la necesidad de darle continuidad o establecer metas a largo plazo, suspendiéndose el fondo de la AERIS-MEMS en 2010<sup>227</sup>. Se encuentran entre los miembros de la RED empresas como Biomédica Integral, *Research and Technology S. A. de C. V*, *TeaM Technologies S. A. de C. V* (primera empresa de diseño de MEMS, ubicada en Ciudad Juárez), *Biochip Bubbles S. A. de C. V* e instituciones como Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Universidad Popular Autónoma de Puebla, INAOE, Centro de Investigación en Materiales Avanzados y Universidad Tecnológica de Puebla. Durante la vigencia del programa AERIS-MEMS se otorgó un apoyo para el desarrollo de un sistema de ventilación pulmonar basado en micro tecnologías para infantes prematuros, se apoyó en la generación de un Reporte sobre la Infraestructura Tecnológica y Educativa de MEMS en México, y se colaboró con IEEE<sup>228</sup> para la realización del

---

<sup>226</sup> Este consorcio actualmente apoya la difusión de tres tecnologías de miniaturización: MEMS, Compuertas Lógicas Programables de Campo (FGPA) y Sistemas Embebidos (o integrado, el cual es un sistema computarizado especializado que es parte de un dispositivo o sistema mayor, que cumple funciones de monitoreo o control).

<sup>227</sup> Información proporcionada por el M. de A. Luis Martínez Jiménez del área de Negocios de Innovación y Redes de innovación (AERIS) de CONACYT.

<sup>228</sup> IEEE es la asociación profesional más grande del mundo que se dedica a la innovación tecnológica avanzada para el beneficio de la humanidad. Sus miembros inspiran una comunidad global a través de publicaciones, conferencias, estándares tecnológicos y actividades profesionales y educativas (IEEE, Advancing Technology for Humanity).

Congreso IEEE-MEMS en Cancún en 2011 (FUMEC, Reporte Bienal de Actividades 2008-2009).

### **3.2.3 Financiamiento nacional en ciencia y tecnología. Gasto en investigación y desarrollo experimental (GIDE) en México**

El financiamiento nacional de la ciencia y la tecnología tiene dos grandes componentes: 1) el sector público que comprende a la administración pública, el CONACYT y las entidades federativas, y 2) la inversión que realiza el sector privado.

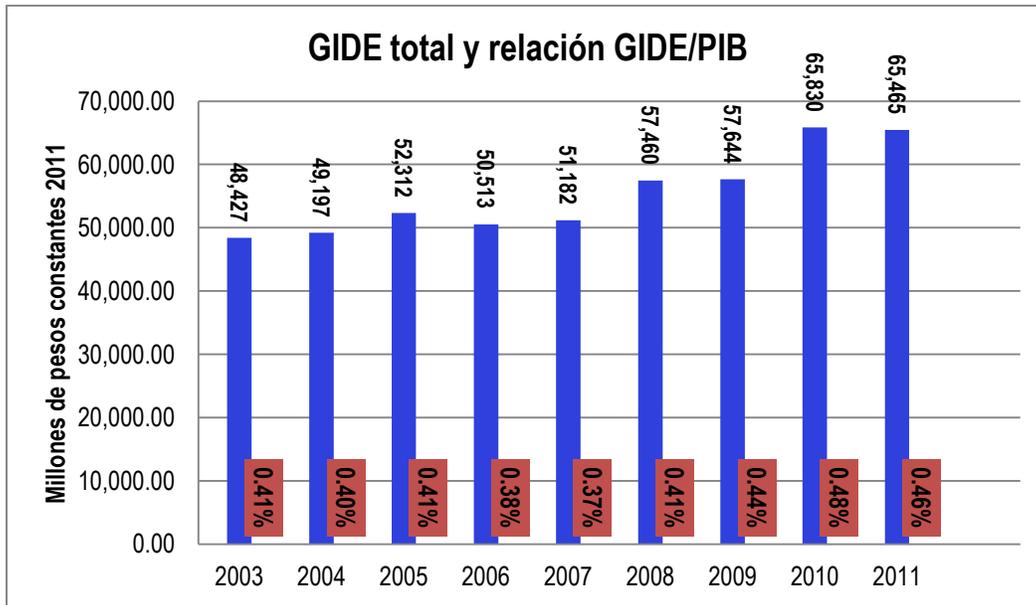
Se estima que el gasto interno bruto en investigación y desarrollo experimental (*gross domestic expenditure on research and experimental development*) o GIDE<sup>229</sup>, de acuerdo a los últimos datos del CONACYT, en el año 2011, fue de 65,465 millones de pesos. Sin embargo, el GIDE total en todos estos años no ha alcanzado aún el 1% del PIB, siendo su principal fuente de recursos, el financiamiento público (véase gráficas 1 y 2). Mientras que el gasto del sector privado ha incrementado su participación en el GIDE<sup>230</sup> de 14.3% en 1993 a 43% en 2006, para disminuir después y registrarse en 2011 una participación de 37.5%. El sector privado requiere mejorar la infraestructura, equipamiento e incrementar los recursos humanos dedicados a la investigación y desarrollo. Aceptando que las empresas son agentes centrales de la innovación, en el caso de México aún no se consolida una verdadera relación entre las empresas y el proceso educación-ciencia-tecnología-innovación (PECYT 2008-2012). En la información más desagregada del GIDE en el sector privado por industria se destaca que en 2008-2009, aproximadamente el 77% de este gasto se realizaba en la industria manufacturera, concentrándose casi la mitad de éste sector en las ramas de maquinaria, equipo, instrumentos y equipo de transporte, así como productos fabricados de metal. El sector servicios por sí sólo abarcaba entre 24.3% (2008) y 28.8% (2009) del gasto efectuado por el sector privado. (véase gráficas 1 y 2).

---

<sup>229</sup> Se refiere a los gastos en investigación y desarrollo experimental del sector público, las instituciones de educación superior y el sector privado, así como el financiamiento externo destinado a dichas actividades.

<sup>230</sup> Alejandro Nadal comenta que el dato sobre el gasto del IDE por el sector privado debe tomarse con cautela, ya que el desempeño económico ha sido muy pobre y la política monetaria restrictiva no es un factor que realmente este favoreciendo la inversión.

**GRÁFICA 1**

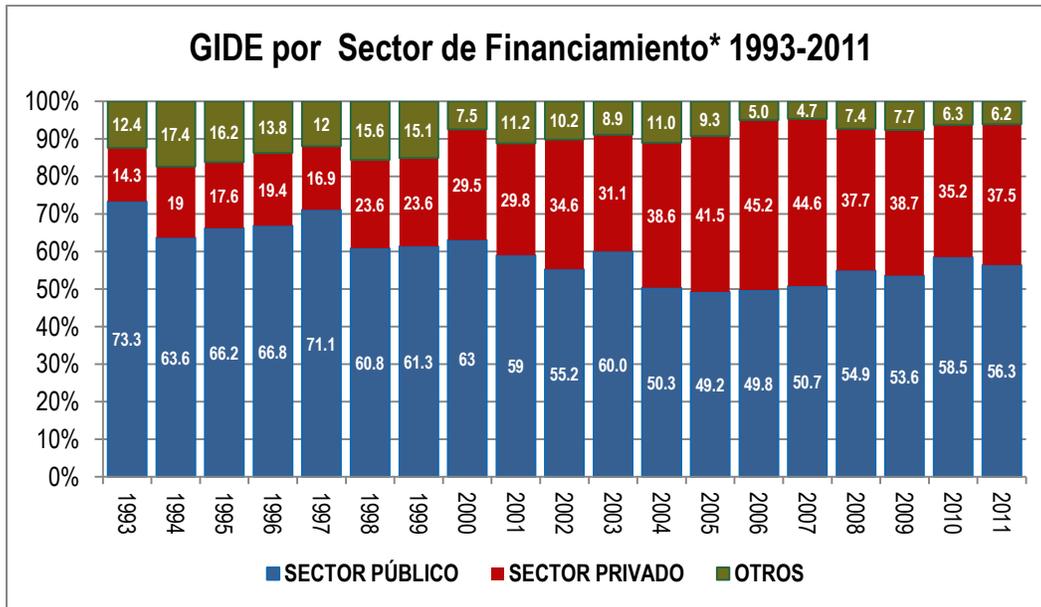


Fuente: Indicadores de Actividades Científicas y Tecnológicas, México 2011; CONACYT.

El otro indicador importante es el gasto federal en ciencia y tecnología (GFCyT), que incluye el gasto en investigación y desarrollo experimental (GIDE que ha representado casi el 60% del GFCyT en 2011), el gasto en educación y entrenamiento de ciencia y tecnología (formación de recursos a nivel de posgrado que ha participado en más de 22%), así como el gasto de servicios científicos y tecnológicos (18.4%). La evolución del GFCyT como porcentaje del PIB en los últimos 20 años se ha mantenido relativamente constante, alcanzando un porcentaje significativo de 0.46% en 1998, posteriormente la tendencia fue a la baja durante una década, para reuperarse en 2008 y alcanzar 0.41% del PIB en 2011 (véase gráfica 3).

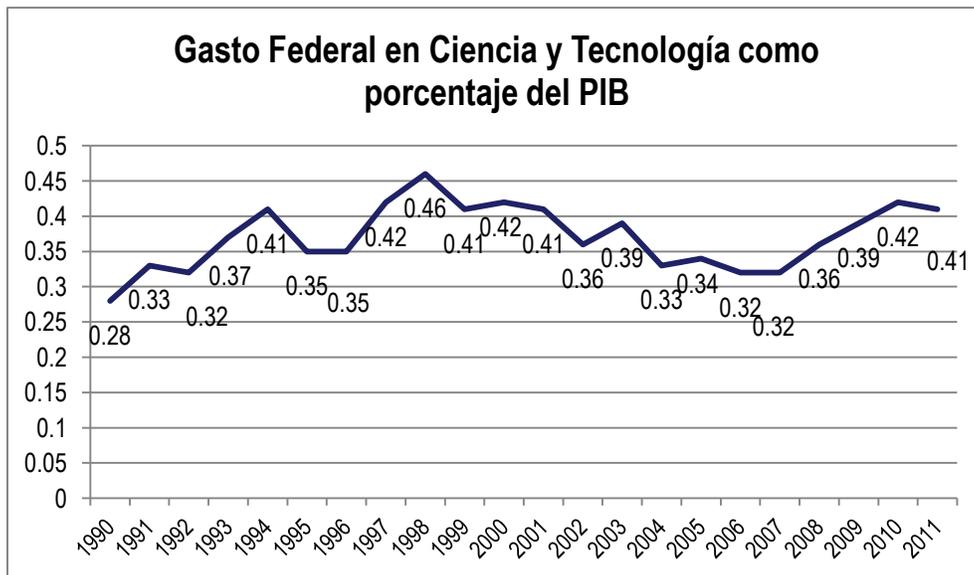
Hay un desequilibrio importante entre los montos asignados a la formación de recursos humanos y estímulos a investigadores, en comparación con los recursos destinados a apoyar los proyectos científicos, tecnológicos y de innovación. El limitado apoyo a los proyectos científicos y tecnológicos dificulta el avance de las actividades de la comunidad científica y tecnológica. Frecuentemente se ha reportado a través de CONACYT la falta de recursos financieros, aún cuando los solicitantes de apoyos cumplen con los requisitos (PECYT 2008-2012).

**GRÁFICA 2**



Fuente: Informe General de la Ciencia y Tecnología 2004 y 2008, CONACYT e Indicadores de Actividades Científicas y Tecnológicas, México 2011; CONACYT. \*Se refiere a aquel sector en el que las unidades que lo integran pagan la actividad de IDE, aun cuando no necesariamente la ejecuten o lleven a cabo al interior de su planta física. OTROS: Suma de sectores de educación superior, privado no lucrativo y financiamiento del exterior.

**GRÁFICA 3**



Fuente: Indicadores de Actividades Científicas y Tecnológicas, México 2011; CONACYT.

### **3.2.4 Recursos humanos en ciencia y tecnología en México, con mención especial en torno a la masa crítica de especialistas en MEMS**

La información de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD) sobre el Acervo de Recursos Humanos en Ciencia y Tecnología (ARHCyT), señala que en promedio 58% de la población ocupada en los países miembros de esta organización cuentan con estudios de tercer nivel<sup>231</sup>. En México aproximadamente el 21.9% de su población ocupada tiene estudios de licenciatura, revelándose en promedio una fuerza laboral con personas poco calificadas en comparación a otros países de la OECD (Informe General del Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, 2011; CONACYT). En 2011, el ARHCyT (que comprende a las personas con estudios de licenciatura o posgrado y aquellos que trabajan como administradores y en áreas técnicas, del sector productivo y académico) se ubicó en 10,370.2 miles de personas. Un equivalente de casi 80% del ARHCyT en ese mismo año, había terminado con éxito la educación en el tercer nivel en un campo de la ciencia y tecnología, registrándose la cantidad de 8,293.6 miles de personas. Mientras que la totalidad de personas educadas y/u ocupadas en campos o actividades científicas y tecnológicas, se situó en 6,169.8 miles de personas, cifra 0.75% superior a la registrada el año previo (5,737 miles de personas). Este grupo representa el 59.5% del acervo total en 2011, dando cuenta que una parte muy importante está desempleada, inactiva o labora en actividades ajenas a la ciencia y tecnología, indicando la falta de correspondencia entre la formación de recursos humanos y la capacidad de absorción del mercado laboral.

En el cuadro 1 se puede apreciar que en 2011, el acervo por área académica estaba compuesto de la siguiente forma: más de la mitad del acervo se dedicaba a las ciencias sociales; en segundo lugar se ubican con más de 17%, las personas ocupadas en el área de ingeniería, seguido del grupo en el campo de salud con más del 13%, mientras que el resto

---

<sup>231</sup> El tercer nivel de acuerdo con la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación (ISCED) comprende los niveles educativos posteriores al bachillerato, estudios conducentes a grados universitarios o superiores (ISCED 5A: licenciaturas; ISCED 6: especialidades maestrías y doctorados) y estudios no equivalentes a los universitarios pero que crean habilidades específicas (ISCED 5B: carreras de técnico superior universitario).

de las áreas (ciencias exactas, agricultura y humanidades) en conjunto aportaban más del 14% del acervo.

**CUADRO 1**

<b>PEA OCUPADA en Actividades de Ciencia y Tecnología 2008-2011</b>								
	<b>Miles de personas</b>				<b>% de la PEA Ocupada</b>			
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
<b>Total</b>	<b>3,665.8</b>	<b>3,787.0</b>	<b>3,887.1</b>	<b>4,127.5</b>	<b>8.40</b>	<b>8.62</b>	<b>8.74</b>	<b>8.48</b>
<b>Ciencia Naturales y Exactas</b>	196.5	202.7	205.3	231.4	0.45	0.46	0.46	0.48
<b>Ingeniería y Tecnología</b>	628.8	649.3	666.3	706.7	1.44	1.48	1.50	1.45
<b>Ciencias de la Salud</b>	501.8	519.4	533.5	571.1	1.15	1.18	1.20	1.17
<b>Ciencias Agrícolas</b>	110.6	113.5	112.9	135.7	0.25	0.26	0.25	0.28
<b>Ciencias Sociales</b>	2,044.3	2,108.9	2,169.9	2,254.4	4.69	4.80	4.88	4.63
<b>Humanidades y otros</b>	124.7	131.3	134.4	160.8	0.29	0.30	0.30	0.33
<b>No especificado</b>	59.1	61.9	64.8	67.6	0.14	0.14	0.15	0.14

Fuente: Informe General del Estado de la Ciencia y Tecnología, 2008. CONACYT.

Las estadísticas hacen referencia a la población que completó el nivel superior y están ocupadas en actividades de ciencia y tecnología.

Se observa también en el cuadro 1 que el número total de la población económicamente activa ocupada en el año 2011 en el área de de ingeniería se estimaba en 706,700 personas. Sin embargo no todos están vinculados directamente con actividades de ciencia y tecnología, existe un buen número de ingenieros en las áreas de supervisión y producción en el sector manufacturero (888, 300 personas). En general, los recursos humanos ocupados en actividades de ciencia y tecnología durante el período de 2008-2011, como porcentaje de la población económicamente activa (PEA) total ocupada, se ha mantenido en poco más del 8%.

En referencia a la tecnología MEMS, FUMEC en el año 2002 sondeó sobre la existencia de especialistas en este tema, ubicando en ese tiempo, sólo tres doctores con especialidad en MEMS en todo el país. Desde entonces FUMEC y otras instituciones académicas se han dado a la labor de difundir esta tecnología a través de cursos, diplomados, promoción de tesis en las licenciaturas de las carreras de ingeniería y la implementación formal dentro de los planes de estudio. Otro esfuerzo para acelerar el proceso de aprendizaje de esta tecnología ha sido el Programa MEMS-México a partir de 2009, con vigencia de cuatro

años para la difusión del *software* de diseño de MEMS de *SNL* (aparte tiene otros compromisos como p.e., la colaboración en red para el desarrollo de diversos dispositivos, etc.). Este programa consistió en capacitar a cinco super usuarios (pertenecientes a las cinco universidades que en principio se integraron para constituir el Programa MEMS México) en el uso del *software* SUMMiT-V en *SNL*, con el compromiso de transmitir el conocimiento capacitando a otros ingenieros. Para la identificación del número de expertos en el campo de los MEMS, se debe contabilizar a los especialistas en fabricación, diseño, análisis o pruebas, e interconexión o aplicación de MEMS. Hasta ahora en México la experiencia de ingenieros o científicos se delimita a la compra e integración de MEMS, pero el número real de especialistas en fabricación o diseño de los mismos, se estima es de aproximadamente 20 personas o tal vez menos<sup>232</sup>. La trascendencia de esta tecnología reside en su carácter transversal, es decir, que tiene aplicaciones en casi todas las industrias, por lo cual requiere de la retroalimentación de otras disciplinas. Las posibilidades de desarrollo de esta tecnología en el caso de México, de acuerdo a la opinión de los especialistas en el tema, estarían en el área médica (biosensores) y probablemente con relativo éxito en los materiales a utilizar en la microelectrónica, puesto que se cuenta con excelentes químicos.

Es indispensable para el desarrollo de la tecnología MEMS, una masa crítica de especialistas e investigadores en diversos campos de ciencia y tecnología que conformen grupos multidisciplinarios. En México, el dato cuantitativo de la relación entre investigadores y PEA no es muy alentador, puesto que hay un investigador por cada mil de la PEA<sup>233</sup>, mientras que en Alemania la relación es de 8 investigadores, España 5, Corea

---

<sup>232</sup> Como punto de referencia, el Dr. Horacio Estrada del CENAM comentó que en *University of California, Berkeley* el número de egresados especialistas en MEMS es de 100 personas por año. Por otro lado, la estimación respecto al número de especialistas en MEMS en México varía, el Dr. José Mireles del CICTA de Ciudad Juárez estima que hasta ahora los especialistas posiblemente serían menos de 10 personas.

<sup>233</sup> Se asume que este sector está dotado de las competencias necesarias para concretar el círculo virtuoso de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. También, se asume que entre mayor número de personas que hayan recibido educación avanzada, promoverán y facilitarán la adquisición de conocimientos, y que además cuenten con las habilidades y creatividad suficientes para su incorporación a la actividad productiva. Únicamente así se cubrirán las expectativas del saber-hacer que están demandando las sociedades. La ausencia de suficientes cuadros de personal preparado (científicos e ingenieros) y la escasa competencia para generar, adaptar y difundir conocimientos coloca a estas sociedades en situación desventajosa, lo que contribuye a su estancamiento económico e intelectual y, en consecuencia, a ampliar aún más la brecha científico-tecnológica existente respecto a otras naciones del mundo (CONACYT).

10, Turquía 2 o China de 1 a 2 investigadores por cada mil habitantes de la fuerza laboral (Indicadores de Actividades Científicas y Tecnológicas, 2011; CONACYT). El personal científico adscrito directamente al CONACYT a través de los centros públicos de investigación y que integran el Sistema Nacional de Investigadores, reportaba para el año 2012 un número de 18,555 investigadores, de los cuales 2,778 pertenecen al área de ingeniería. Se destaca un marcado patrón de concentración de investigadores en el Distrito Federal con 42% y el 58% restante, disperso en las demás entidades federativas.

A nivel internacional México está clasificado como un país de bajo nivel en capital humano en ciencia e ingeniería, y en general de baja dotación de estudiantes a nivel profesional. La dotación de recursos humanos en un país es sin duda un dato cuantitativo que aporta cierta información, pero que no reflejan el carácter cualitativo de las habilidades y competencias tecnológicas. En México aún no se dispone de mecanismos para una valoración suficientemente confiable de la calidad de los egresados y graduados de las licenciaturas de ingeniería, pues ni siquiera se ha homologado la aplicación de exámenes de egreso como los del CENEVAL y tampoco se ha establecido una correlación con los diversos certificados que se otorgan en los Estados Unidos. En el ámbito ocupacional, el perfil de los ingenieros relacionados con la innovación ha cambiado sustancialmente en las dos últimas décadas. La ingeniería ha desempeñado un papel importante en la infraestructura, teniendo una parte relevante en el diseño, instalación, operación y modernización de las industrias extractivas y de la transformación. Por su incidencia en la innovación, es importante destacar el caso de la ingeniería de diseño, que en las dos últimas décadas se ha visto significativamente reducida por los contratos llave en mano<sup>234</sup> de financiamiento externo, lo que ha repercutido en el debilitamiento de la cadena de suministros, principalmente las del sector energético, y en la desaparición de gran parte de las firmas de ingeniería nacional. Por otro lado, en las empresas industriales y las grandes empresas del sector público, la presión por mantener estructuras de costos y gastos competitivos ante la apertura económica generó múltiples acciones de reducción de personal que afectaron

---

<sup>234</sup> El proyecto mano en llave es aquel en que el contratista se obliga frente al cliente, a cambio de un precio elevado a concebir, construir y poner en funcionamiento una obra determinada, que él mismo previamente ha proyectado. En este tipo de contrato se pone especial énfasis en la responsabilidad global que asume el contratista frente al cliente, ya que se encarga desde la ingeniería conceptual, básica y de detalle, hasta la realización de pruebas finales en la instalación, capacitación del personal y entrega del proyecto.

considerablemente a la población de ingenieros en funciones técnicas cercanas o incluso propias de la operación. Las empresas mayores recurrieron transitoriamente a la formación de grupos técnicos centrales como “ingeniería de procesos”, “ingeniería de mantenimiento”, “servicios técnicos”, etc.; grupos que posteriormente fueron también reducidos o eliminados (no existen estadísticas que registren estos movimientos). Este personal técnico cumplía con la realización de funciones tecnológicas necesarias para establecer el puente entre la investigación aplicada e investigación básica para generar innovaciones. Estas deficiencias configuran lo que la OCDE denomina como baja capacidad de absorción tecnológica de las empresas mexicanas, debilidad que afecta al Sistema de Innovación Nacional y de los Sistemas de Innovación Regional (Rodríguez, 2010; PECYT 2008-2012; *OECD Science, Technology and Industry Outlook*, 2008 y 2012).

### **3.2.5 Patentes en México con datos puntuales sobre invenciones de MEMS**

El acervo de patentes es un indicador clave sobre la capacidad inventiva de una economía. No obstante, el otorgamiento del derecho legal sobre la propiedad industrial de la misma, no significa por sí, la explotación comercial del nuevo producto y/o proceso. Se ha observado que la mayoría de las patentes son adaptaciones menores (patentes periféricas) que tienen como objetivo resguardar la patente núcleo o medular. Es decir, obedece más a una estrategia comercial de la empresa para perpetuar rentas y privilegios, que en sí mismo un nuevo desarrollo científico y tecnológico<sup>235</sup> (Nadal, 2007:131).

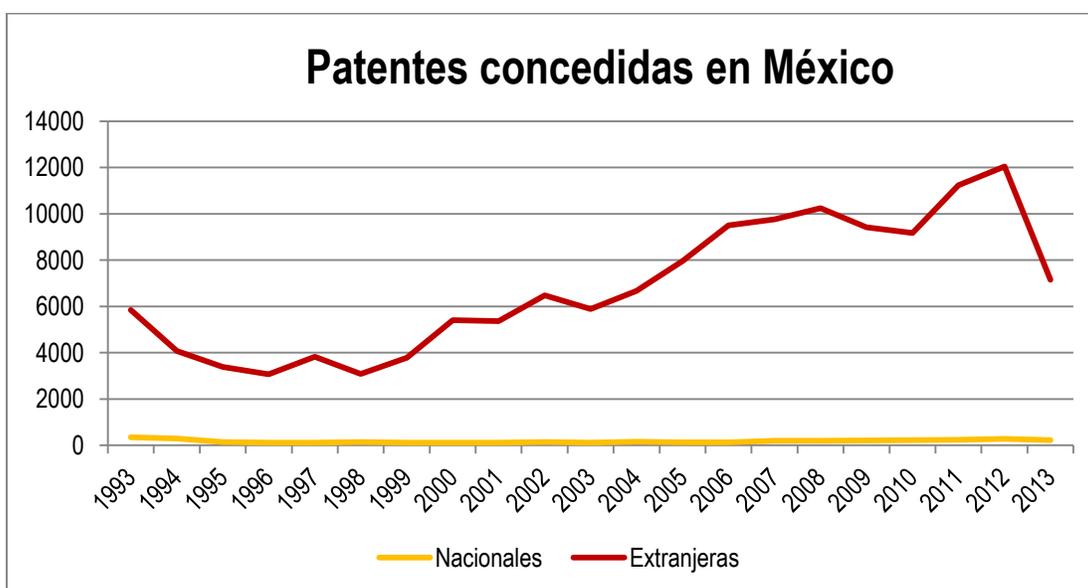
La evolución de las patentes en México muestra un significativo y persistente dominio de patentes extranjeras en el tiempo. La escasa importancia de la concesión de patentes mexicanas, se ha revelado en la tendencia descendente de 343 patentes nacionales registradas en 1993, para disminuir a 222 en el año 2013 (véase gráfica 4). De forma contundente se coteja en el despliegue estadístico de la información del Instituto Mexicano

---

<sup>235</sup> Para Estados Unidos la evidencia empírica demuestra que una tercera parte de las innovaciones se protegen a través del sistema de patentes. Se recurre a otros mecanismos para la protección de rentas derivadas de la innovación tecnológica, como el secreto industrial, las ventajas de la velocidad en la irrupción de la innovación y prestación de servicios complementarios de las empresas. Contando además con las barreras naturales de protección a la entrada de nuevos competidores (Nadal, 2007).

de la Propiedad Intelectual (IMPI), la idea de una fuerte dependencia externa, ya que por cada 13 patentes solicitadas de origen extranjero en 2013 se solicitaba una patente nacional, fenómeno similar a los años previos<sup>236</sup>. El incremento de patentes extranjeras en México a partir de la década de 1990, obedece al fortalecimiento del sistema de patentes a través de las reformas de la legislación de la propiedad, alargando su duración (la vigencia se amplió de 14 a 20 años), ampliando su cobertura (en campos antes cerrados al sistema de patentes, como por ejemplo la biotecnología) y dificultando la aplicación del régimen de licencias obligatorias<sup>237</sup> (para el caso de no explotación comercial de una patente) (Nadal 2007).

**GRÁFICA 4**



Fuente: Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) en cifras 2013.

<sup>236</sup> Desde una visión optimista se considera que “aunque en primera instancia lo anterior puede interpretarse como una dependencia tecnológica del exterior, también puede decirse que nuestro país representa un importante mercado, razón por la cual existen incentivos para que los extranjeros deseen registrar sus invenciones en México (Informe General del Estado de la Ciencia y Tecnología, 2008. CONACYT).

<sup>237</sup> Por licencias obligatorias se entiende el permiso que da un gobierno para producir un producto patentado o utilizar un procedimiento patentado, sin el consentimiento del titular de la patente. Se trata de una de las flexibilidades que permite en lo que respecta a la protección de las patentes, el Acuerdo de la OMC sobre Propiedad Intelectual, a saber, el Acuerdo sobre los ADPIC (Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio). Se obliga al titular de una patente a abrir la exclusividad inherente de sus derechos, con objeto de que terceros interesados puedan explotar el objeto materia de la patente. En países como Estados Unidos se utiliza para impedir que un área completa de actividad económica sea bloqueada o controlada por un solo agente económico, imponiendo precios y condiciones. En otros países es impuesto como una especie de sanción al titular de una patente, como consecuencia de no explotar sus derechos dentro de un plazo determinado, al cual en última instancia se le pagará una regalía calculada de acuerdo a los estándares de cada legislación (OMC; Jalife Daher, 2005).

El promedio de patentes concedidas a extranjeros en el período de 1993-2013 representa más del 95%, denotando una contribución nacional cada vez más marginal. El registro más reciente de 2013 sobre patentes otorgadas por área tecnológica, muestra que más de las 2/3 partes se concentraba en artículos de uso y consumo (24.8%), seguido de técnicas industriales diversas (17.6), física (15.3%), y el área de química-metalúrgica (15.3%), mientras que menos de 1/3 parte pertenecían a las áreas: textil y papel, construcciones fijas, mecánica-iluminación y electricidad. Con respecto al sistema de patentes mexicano adoptado en el umbral de la apertura comercial y financiera, Alejandro Nadal considera que es muy rígido, convirtiéndose en un enorme obstáculo al desarrollo tecnológico, ya que bajo condiciones de debilidad en el gasto del IDE, un sistema que favorece la explotación monopólica de la innovación constituye más bien un mecanismo de pérdida de bienestar público.

En el portal, Sistema de Información de la Gaceta de la Propiedad Industrial del IMPI que proporciona información sobre las patentes concedidas, se registra que durante el período de 2004 a 2013 se han otorgado más de 24 patentes de MEMS a extranjeros (ver cuadro 2), en su mayoría a empresas estadounidenses (*Qualcomm MEMS Technologies, General Electric Company, IDC LLC, University Of Southern California*). Además se encuentran en proceso de revisión 69 patentes de MEMS emitidas en su mayoría por empresas e instituciones extranjeras, destacándose como principal solicitante la empresa IDC, LLC de Estados Unidos y tan sólo cuatro instituciones mexicanas (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Universidad Veracruzana, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato y CIATEQ) han solicitado en conjunto seis patentes de MEMS que en la totalidad de las solicitudes representa un 8.7%, reflejando el aún exiguo resultado de esta tecnología en el ámbito de la investigación del país .

Se tiene conocimiento por las entrevistas realizadas a miembros activos de la RED-MEMS, que el Dr. José Mireles del CICTA de Cd. Juárez tiene dos patentes registradas en Estados Unidos (*Sensor Micromaquinado Para Medición De Fuerza Utilizando Técnicas Ópticas y Electrostatically Actuated Non-Latching And Latching Rf-Mems Switch*), en circunstancias similares el Dr. Horacio Estrada del CENAM, es inventor y coinventor de dos patentes, con

cuatro patentes en curso de revisión en Estados Unidos y México. En la actualidad hay varios proyectos en la etapa de investigación y desarrollo alrededor de la concepción de dispositivos MEMS en diversos centros que pertenecen a la RED-MEMS.

**CUADRO 2**

<b>PATENTES DE MEMS EN MÉXICO</b>					
<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL DE PATENTES</b>	<b>PRINCIPAL SOLICITANTE DE PATENTES OTORGADAS FECHA DE CONCESIÓN ENTRE 2004-2013</b>	<b>NO.</b>	<b>PRINCIPAL SOLICITANTE DE PATENTES EN TRÁMITE FECHA DE PRESENTACIÓN ENTRE 2000-2013</b>	<b>NO.</b>
México		Qualcomm MEMS Technologies, Inc. (E.U)	7	IDC, LLC (E.U)	28
Otorgadas	24	General Electric Company (E.U)	7	General Electric Company (E.U)	11
Solicitadas	69	IDC, LLC. (E.U)	4	Instituto Tecnológico de Estudios Superior de Monterrey	3
		International Business Machine Corporation (E.U)	2	Qualcomm MEMS Technologies, Inc. (E.U)	2
		XEROX Corporation (E.U)	1	DELFMEMS (Francia)	2
		GECO Technology B. V. (Países Bajos)	1	Baxter International, Inc. (E.U)	2
		University of Southern California (E.U)	1	Becton, Dickinson and Company (E.U)	2
		The Charles Stark Traper Laboratory, Inc. (E.U)	1	International Business Machine Corporation (E.U)	2
				Halliburton Energy Services (E.U)	1
				Universidad Veracruzana	1
				Instituto Tecnológico Superior de Irapuato	1
				GECO Technology B. V. (Países Bajos)	1
				KCI Licensing, Inc. (E.U)	1
				CIATEQ, A.C.	1
				University of Southern California (E.U)	1
				Uni-Pixel Displays, Inc. (E.U)	1
				Advanced Inertial Measurement Systems Sweeden Aktiebolag (Suecia)	1
				Advanced Bio Prosthetic Surfaces, Ltd. (E.U)	1
				Case Western Reserve University (E.U)	1
				Microvision Inc. (E.U)	1
				XEROX Corporation (E.U)	1
				XAAR Technology Limited (Reino Unido)	1
				The Charles Stark Draper Laboratory, Inc. (E.U)	1
				Microsoft Corporation (E.U)	1
				Corning Incorporated (E.U)	1

Fuente: IMPI, Sistema de Información de la Gaceta de la Propiedad Industrial.

### 3.2.6 Balanza de pagos tecnológica de México

Al hablar del desempeño tecnológico en un país es importante mencionar el indicador de la Balanza de Pagos Tecnológica (BPT), la cuál es una subdivisión de la balanza de pagos global, y registra las transacciones de intangibles relacionadas con el comercio de

conocimiento tecnológico<sup>238</sup> entre agentes de diferentes países. Los flujos financieros que integran la BPT comprende:

1) Transacciones relacionadas con los derechos de propiedad industrial o comercio de técnicas. Son los ingresos y egresos, por compra y uso de patentes (la tecnología se transfiere a través de un contrato de licencia) o en instrumentos no patentados (revelaciones *del know how*, planos y procesos protegidos por el secreto industrial), marcas registradas, modelos y diseños, incluidas las franquicias.

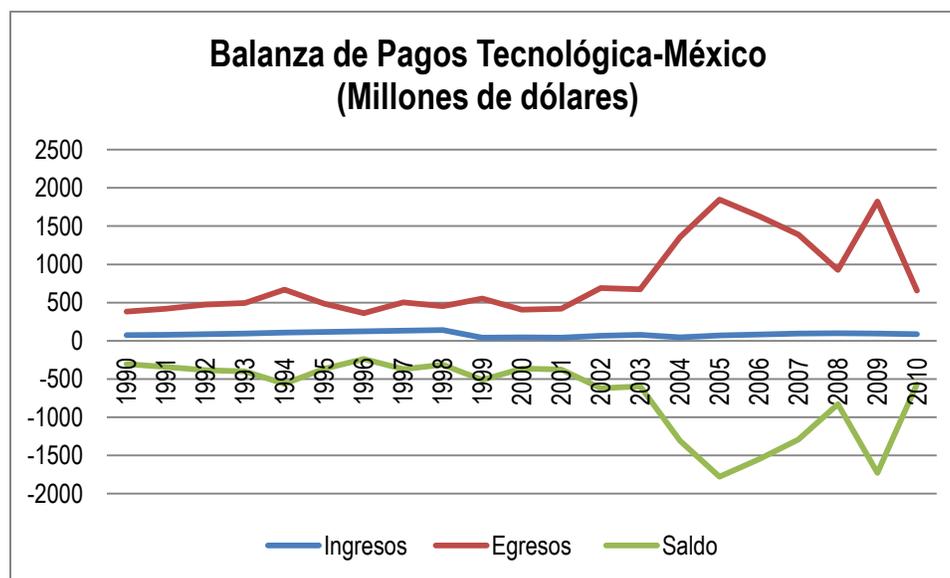
2) Transacciones relacionadas con la prestación de servicios con algún contenido técnico o servicios intelectuales. Abarca los servicios de asistencia técnica, estudios de diseño e ingeniería y, los servicios de investigación y desarrollo experimental de las empresas que se llevan a cabo o son financiados en el exterior.

Las magnitudes de la BPT revelan la importancia y grado de participación de los países en el contexto de la globalización del conocimiento científico y tecnológico. Y en especial, los egresos de la BPT indican en qué medida la innovación tecnológica de las empresas establecidas en el país se realiza mediante la compra de técnicas desarrolladas en el exterior, presentándose en México una fuerte dependencia como se observa en la gráfica 4. Los datos muestran un déficit crecientemente crónico en especial a partir de 2003, agudizándose en 2005 y 2009 con montos de más de 1700 millones de dólares. Desde una perspectiva optimista, el déficit podría significar que el país invierte en la adquisición de patentes, derechos de propiedad intelectual y servicios de asistencia técnica con la finalidad de acelerar, la asimilación y capacidad tecnológica, cuya eficacia podría reducir la dependencia externa a largo plazo. En el caso de que la evidencia mostrará que no, esto se convierte en una carga con fuertes implicaciones al desarrollo económico. (Informe General del estado de la Ciencia y tecnología 2008, CONACYT).

---

<sup>238</sup> Este concepto no incluye las transferencias de tecnología incorporadas en las mercancías, como lo son los bienes de capital y los bienes de alta tecnología (Indicadores de Actividades Científicas y Tecnológicas 1990-1999, CONACYT).

GRÁFICA 4



Fuente: Indicadores de Actividades Científicas y Tecnológicas 1998, 2001 y 2011, CONACYT.

La revisión en el comercio exterior de los bienes de alta intensidad tecnológica (BATs)<sup>239</sup> denota parte de la evolución en la adquisición y asimilación de avances tecnológicos. Su importancia da por supuesto, que el acervo científico y tecnológico en especial la investigación y desarrollo experimental es un insumo en la producción, que da lugar a nuevos productos, procesos y servicios. No obstante en México, se debe analizar con mucha atención el monto de exportaciones de BATs por empresas que operan bajo el régimen maquilador de exportación<sup>240</sup>. En primer lugar, los BATs han sido sobreestimados porque conforme a la metodología de la OECD se toma en cuenta sólo las exportaciones brutas (Nadal, 2007). Cuando se realiza el cálculo con base a las exportaciones netas (que en el caso de las maquiladoras coincide con el saldo<sup>241</sup>), el resultado ha sido cuasi negativo

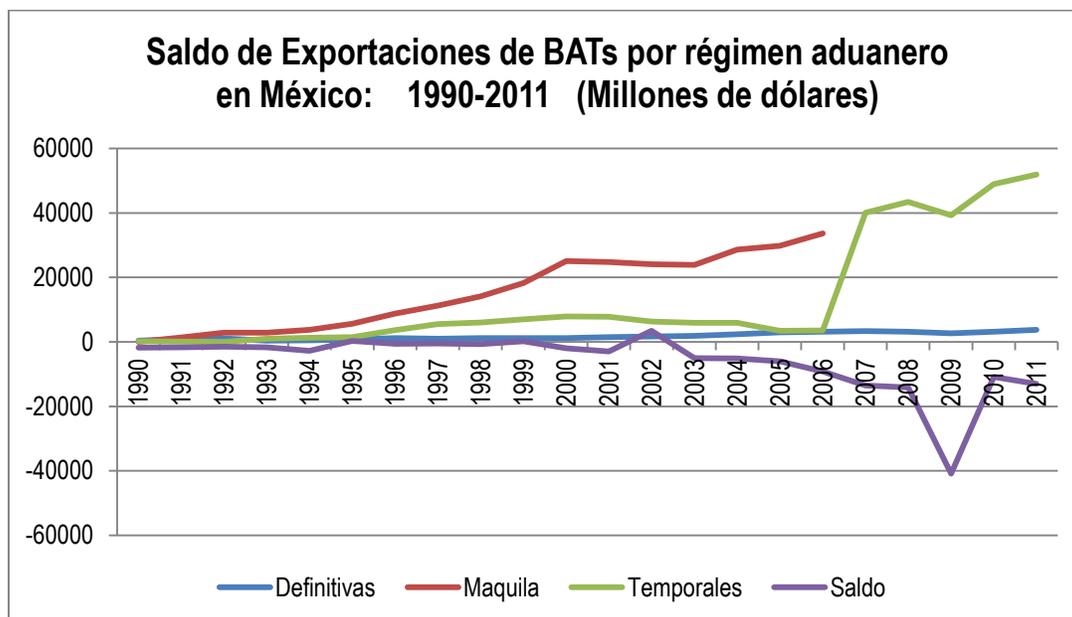
<sup>239</sup> La clasificación de bienes de alta tecnología por la OECD comprende 9 grupos: Aeronáutica, Computadoras-Máquinas de Oficina, Electrónica-Telecomunicaciones, Farmacéuticos, Instrumentos científicos, Maquinaria eléctrica, Químicos, Maquinaria no eléctrica y Armamento.

<sup>240</sup> El Programa de Maquila de Exportación es un instrumento mediante el cual se permite a los productores de mercancías destinadas a la exportación, importar temporalmente los bienes necesarios para ser utilizados en la transformación, elaboración y/o reparación de productos de exportación, sin cubrir el pago de los impuestos de importación, del impuesto al valor agregado y, en su caso, de las cuotas compensatorias. Se aplica de igual forma, para realizar aquellas actividades de servicio que tengan como finalidad la exportación o apoyar a ésta (Informe General del Estado de la Ciencia y Tecnología 2010, CONACYT).

<sup>241</sup> A partir de 2007, en el marco de la ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación (LIGIE) expedida en 2008, las transacciones realizadas por la industria maquiladora de exportación se contabilizan en el rubro temporal, por lo que el desglose reportará exportaciones e importaciones definitivas y temporales. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que, por mucho, “las operaciones de las

en el período 1990-2007, salvo en el año 2002 con un ligero superávit de 3,476.1 millones de dólares (véase gráfica 5).

**GRÁFICA 5**



Fuente: Indicadores de Actividades Científicas y Tecnológicas 1990-1999. Anexos Cuadros Estadísticos, CONACYT e Informe General del Estado de la Ciencia y Tecnología 2011. CONACYT.

Más allá del análisis estadístico de las exportaciones, es fundamental entender como bien plantea Dussel Peters, “la racionalidad de los procesos de importaciones temporales para su reexportación” (IME) en el régimen maquilador<sup>242</sup>. La composición de las exportaciones en México ha cambiado considerablemente desde la estrategia de liberalización de 1988 y la entrada en vigor del TLCAN. Se ha documentado que a inicios de los 80s, el tipo de productos que se clasificaban en mediano o alto nivel tecnológico representaban menos del 20% del total de las exportaciones y para finales de los 90s, se había incrementado a 60%. En un primera instancia, esto conduciría a pensar que no sólo se habría incrementado las exportaciones sino también su contenido tecnológico, “incluso concluir que estos productos requieren y demandan territorialmente un alto grado de innovación” (Dussel Peters, 2003).

---

maquiladoras representan la mayor parte del comercio exterior del régimen temporal” (Informe General del Estado de la Ciencia y Tecnología 2010, CONACYT).

<sup>242</sup> Existen otros programas similares en México que operan bajo el mecanismo de importación temporal para la reexportación, como el Programa de Importación Temporal para la Exportación (PITEX), ALTEX y otros (Dussel Peters, 2003).

Sin embargo bajo una inspección más detallada, se advierte que más del 80% de estas exportaciones se realizan al amparo de la IME, condición que determina una serie de aspectos en torno al proceso de producción. Los incentivos bajo este régimen, exentan a los productores del pago en IVA, ISR (es muy reducido) y aranceles, sobre bienes y servicios importados que se incorporan al proceso de producción nacional. La contradicción de estos programas de fomento radica en que este cuasi subsidio que sufraga a las empresas, es a su vez un medio para desincentivar la disposición de las mismas, sí realmente se propusieran aumentar el grado de integración nacional, pues implicaría altos costos de producción (de acuerdo a Dussel Peters de más del 50%, monto aproximado de los aranceles e impuestos derogados). Por lo tanto, la IME es un parámetro esencial entre otros más, para comprender el fracaso del grado de endogeneidad territorial o integración nacional. Esta reflexión conduce también a desentrañar la verdadera naturaleza en la producción de productos de mediana y alta tecnología (electrónica, autopartes y automovilística), pues no significa *per se* que se realicen en efecto procesos de alto contenido tecnológico en el país. La manufactura de estos productos requieren y demandan territorialmente un alto grado de innovación o de tecnología o incluso de alto valor agregado, con significativos efectos de aprendizaje, empleo, salarios y control de la cadena (Dussel, 2003/d: 333; 2008/a). Es fundamental entender que los procesos de aprendizaje no pueden sustraerse de la dinámica organizacional dentro de la cadena global de valor y que desde “la misma racionalidad” del régimen de la IME, se socava las condiciones de asimilación y escalamiento a segmentos de mayor valor agregado.

El futuro de la tecnología MEMS en México es todavía muy incierto, pero existe el temor de que muy probablemente el empleo de trabajo altamente especializado por parte de empresas trasnacionales, desencadene un fenómeno muy similar a lo que acontece en la industria aeronáutica, que se ha dado en llamar “la nueva maquiladora mexicana”<sup>243</sup>. Es decir, la contratación de mano altamente calificada de bajo costo que incube toda la investigación en el país, generando invenciones cuyo beneficio sea explotado por parte de empresas extranjeras.

---

<sup>243</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.

### 3.3 Panorama general de la economía de China

La economía de China en las tres últimas décadas, ha crecido a tasas del PIB en promedio de más del 10%, convirtiéndose en el mayor exportador de bienes en 2013<sup>244</sup>, con superávit en la cuenta corriente y acumulando reservas internacionales estimadas en 3.82 billones de dólares a finales de 2013, generados por la industrialización orientada hacia las exportaciones. Estas reservas tan vastas de divisas han financiado la creación de infraestructura (carreteras, puertos, logística y comunicaciones) y el desarrollo e investigación de tecnologías emergentes en universidades y parques científicos (Banco Mundial).

Los factores que hasta la fecha muestran la consolidación de su poder son: una amplia base industrial, un Estado fuerte, una fuerza militar con armas nucleares, un extenso territorio, un permanente asiento en el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas y el mercado interior más grande del mundo con 1,300 millones de consumidores potenciales. China se ha convertido en un importante productor de *commodities* reflejando su éxito en las exportaciones de bienes y servicios que han pasado de ser, menos del 15% del PIB en la década de los 80s a 27% del PIB en 2012 (El Banco Mundial, Datos; Appelbaum, Parker, Cao y Gereffi, 2011). La inversión extranjera directa en China ha sido uno de sus principales instrumentos desde los años 90s, para adquirir capital, nuevas tecnologías y acceso a mercados externos, convirtiéndose desde entonces, en el motor detrás del crecimiento exitoso del sector exportador. De acuerdo al informe sobre las inversiones mundiales de 2012, China es el segundo destino preferente después de Estados Unidos, y últimamente ha pasado a convertirse en un emisor importante de inversión en ramas principalmente de la manufacturera y extracción de materias primas.

La profunda evolución de China y su irrupción en el escenario mundial ha sido precedida por una apertura estratégica a partir de 1979, con una serie de reformas graduales en las empresas estatales, cambios en la operación de las finanzas, los impuestos, la

---

<sup>244</sup> Estados Unidos es todavía la principal nación comercial, si se añade el comercio de servicios (Cox, 2014).

determinación de precios y el comercio exterior. A grandes rasgos se puede enumerar los cambios más importantes:

1) La retención de utilidades de las empresas públicas se convirtieron en impuestos sobre las ganancias en el período de 1984-1986, permitiéndose vender en el mercado libre, los excedentes por arriba de las cuotas fijadas en los planes quinquenales. En el período de 1987-1992 se introdujo el sistema de responsabilidad por contrato, que consistía en cubrir una cuota de producción, y un nivel de impuestos determinado que se paga al Estado, el resto del cual se queda para la empresa. Para el año 1993 se otorgó una mayor autonomía a la empresa, interiorizándose la cultura del desempeño económico a base de bonificaciones para mejorar la productividad. A nivel financiero las empresas estatales recibieron préstamos sobre una tasa de interés, contrario a la política de subsidiarlas en su totalidad.

2) A partir de 1980 se establecieron las Zonas Especiales dotadas de infraestructura y comunicaciones para atraer a la inversión extranjera, convirtiéndose en espacios donde se intercambia tecnología por mano obra barata. Entre los incentivos para la inversión extranjera más destacables a parte de los bajos costos laborales, son las exenciones fiscales (anteriormente se aplicaba una tasa promedio de 30% que se reducía a 14% tras las dispensas, pero desde 2008 se han eliminada las ventajas fiscales para las empresas extranjeras)<sup>245</sup>. Mientras que las empresas locales gozan de significativos apoyos financieros y logísticos, con un esquema de protección que busca garantizar su participación con las empresas extranjeras (empresas mixtas o *joint venture*) y la asimilación de las capacidades mediante la transferencia tecnológica. Se ha fomentado la inversión extranjera en el sector exportador pero se han restringido o prohibido áreas consideradas de seguridad nacional por el Estado.

3) La política cambiaria en China ha permitido un régimen de flotación que permite la manipulación cambiaria, manteniendo subvaluada su moneda, factor que ha contribuido en el abaratamiento de sus exportaciones (junto con los costos laborales extraordinariamente

---

<sup>245</sup> Desde 2008 se ha establecido un nuevo impuesto modificado del 25%, que será aplicado tanto a las empresas extranjeras como a las locales con el fin de crear un entorno que favorezca la competencia justa.

bajos). En 2005 se flexibilizó la política cambiaria que implicó el abandono del dólar como única referencia, dando cabida a una canasta de divisas y el compromiso de conservar una banda de flotación de la paridad cambiaria del 3%. En ese entonces la moneda china se revaluó aproximadamente 20%, pero poco después en 2008, se retornó a la política cambiaria anterior puesto que representaba un serio freno para las exportaciones chinas<sup>246</sup> (Aquino, 2000; Nadal, Alejandro. “Reforma económica y socialismo en China”. La Jornada, 27 de diciembre de 2013).

En el último plan quinquenal adoptado en 2011, el gobierno de China concede gran prioridad al desarrollo social y pretende reducir la dependencia de las inversiones privadas. Su agenda económica tiene contemplado el apoyo al consumo interno, la búsqueda del equilibrio a favor de los servicios y la apertura del mercado doméstico a la inversión extranjera, esta situación obligará a las empresas chinas a que compitan con las empresas extranjeras y sus subsidiarias. En el sector financiero se busca el saneamiento de los bancos<sup>247</sup> y la liberalización de la cuenta de capital, paso necesario para lanzar al renminbi en moneda internacional de reserva y medio de pago (Santander, Información sobre países; Nadal, Alejandro. “Reforma económica y socialismo en China”. La Jornada, 27 de diciembre de 2013).

---

<sup>246</sup> Desde 2008 el tipo de cambio se fijó en 6.83 yuanes por dólar, para promover las exportaciones y paliar la contracción económica. Las empresas transnacionales por su parte realizan operaciones de maquiladora con China o están en cierto grado integradas verticalmente, beneficiándose del ingreso de China a la OMC y no están interesados en la revaluación de la moneda china (Nadal, Alejandro. “China y la manipulación bancaria”. La Jornada, 14 de abril de 2010).

<sup>247</sup> El capital de financiamiento destinado al sector privado ha crecido 20% el último año, de acuerdo a datos del banco central chino (que incluye bonos corporativos, emisiones de acciones, préstamos a otros bancos y otros prestamistas). Algunos de estos créditos arrastran graves problemas como por ejemplo, un producto de crédito que vende el banco más grande China ICBC a nombre de Crédito Fiduciario de China (institución no bancaria), está a punto de quebrar o el vicepresidente de la empresa *Zhenfu Energy Group*, está acusado de tomar depósitos sin licencia, declarándose la empresa insolvente. Esta situación en la esfera financiera es resultado de la expansión del crédito en China (durante la crisis hipotecaria de Estados Unidos en 2008) que se llevó a cabo en tres formas: algunos créditos se gastaron de forma productiva en nuevo capital e infraestructura; otros créditos se desperdiciaron en consumo o proyectos descabellados (puentes sin destino o minas de carbón sin mercado); y el resto se gastó de forma especulativa, en activos existentes (reales o financieros) con la esperanza de que aumentara su valor (*China's economy. In three parts. The Economist* ; 25 January, 2014).

### **3.3.1 Política de ciencia y tecnología en China**

En 1978 se inició la apertura de China al mundo, realizándose las primeras reformas de gran alcance en el sistema de ciencia y tecnología, con la ampliación del poder de decisión de los institutos de I&D, reformando su sistema de fondos, e introduciéndose mecanismos de mercado y su correspondiente legislación.

Su transformación puede dividirse en cinco etapas históricas:

1era. Etapa. Desde finales de la década de los 70s, China adjudicó absoluta prioridad a la tecnología como parte de la estrategia de desarrollo económico emprendida por Deng Xiaoping en su plan de las cuatro modernizaciones (tecnología, agricultura, industria y defensa). Se aprobó en ese entonces el esbozo del Plan de Ciencia Nacional y de Desarrollo de la Tecnología para el período 1978-1985, con la adopción de dos importantes medidas: se estableció un sistema nacional para evaluar el talento del personal calificado en ciencia y tecnología, y se creó en 1981 el Grupo Directivo Nacional para la Ciencia y Tecnología del Consejo de Estado. A partir de la década de 1980s, se implementaron varios programas con la finalidad de construir sólidas capacidades en ciencia y tecnología.

2da. Etapa. El Comité Central del Partido Comunista de China se propuso reformar el sistema de la ciencia y tecnología para utilizarlo como herramienta estratégica de desarrollo económico. Se reformó el sistema de fondos para la ciencia; se implementó un plan para desarrollar el mercado de la tecnología y se fomentó la comercialización de los resultados de la investigación, con el objeto de fortalecer la capacidad de las empresas para desarrollar tecnología propia; se les otorgó a los institutos de I&D el derecho de autodeterminación; y se estableció un sistema de pago en base al mérito para el personal de ciencia y tecnología. Entre 1982-1990 se promulgaron varias leyes: la ley de la marca registrada, ley de patentes, ley de contrato tecnológico y ley de derechos de autor. En este período tuvo lugar la puesta en marcha de cuatro de los programas más importantes: Programa Nacional para la I&D de

Tecnologías Claves (1982)<sup>248</sup>, el Programa Nacional de I&D en Alta Tecnología o Programa 863 (1986)<sup>249</sup>, el Programa Arranque (1986)<sup>250</sup> y el Programa Antorcha (1988)<sup>251</sup> (a partir de este programa se crearon zonas o parques de desarrollo industrial de alta tecnología y centros de incubación tecnológica, con el fin de construir ecosistemas de innovación dirigidos al mercado nacional e internacional).

3era. Etapa. Para 1992 China se pronunciaba abiertamente a favor de una economía socialista de mercado. El discurso oficial continuaba considerando a la ciencia y tecnología prioritaria para el desarrollo económico, pero ahora con la meta de escalar cualitativamente en la trayectoria tecnológica, para lo cual, el gobierno emitió en 1993 el Programa Nacional de I&D Básica Clave o Programa 973<sup>252</sup>. Como medida clave, la Comisión Económica y del Comercio del Estado junto con la Comisión Educativa del Estado y la Academia China de Ciencias, conformó un proyecto de desarrollo convocando a la industria, universidades e institutos de investigación. En 1996 se promulgó una ley que promovía la protección legal de los resultados derivados de los proyectos de investigación. A partir de entonces, los institutos de investigación se orientaron hacia el sector económico, articulándose con la empresa o el sector industrial a través de iniciativas de emprendimiento tecnológico.

4ta. Etapa. Hacia 1998 se inició el Programa para la Innovación del Conocimiento (PIN) con la idea de convertir a la Academia China de Ciencias en un centro puntero de I&D integral en ciencias naturales, ingeniería e innovación de alta tecnología, para así transformarla en una plataforma de investigación científica de prestigio internacional, una incubadora de personal calificado en ciencia y tecnología, así como el punto de despegue

---

<sup>248</sup> Es un programa dirigido a resolver los problemas nacionales en áreas tales como la agricultura, información electrónica, recursos energéticos, transporte o salud. En él participaron miles de investigadores, destinándose vastos recursos con un importante impacto en la economía del país (Li, 2007: 252).

<sup>249</sup> Es un programa que se enfoca en veinte temas (biotecnología, vuelos espaciales, automatización, nuevos materiales, tecnologías de la información, etc.) con el objeto de una rápida aplicación industrial, que se caracteriza por un grupo de científicos decidiendo la dirección de la investigación y un comité de especialistas que determinan los proyectos específicos, manteniendo como referencia los avances científicos internacionales (Li, 2007: 252).

<sup>250</sup> Fue un programa dirigido a impulsar la economía en el campo mediante la ciencia y tecnología (Li, 2007: 253).

<sup>251</sup> Es un programa que promueve en el sector de pequeña y mediana empresa, la comercialización, industrialización e internacionalización de los resultados de la investigación en alta tecnología de acuerdo a las reglas del mercado (Li, 2007: 252).

<sup>252</sup> Este programa apoya a científicos dedicados a investigaciones de fronteras que repercutan positivamente en el desarrollo económico y social del país (Li, 2007: 253).

para la industria de alta tecnología. Como parte del PIN se decidió en 2009, transformar 242 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<sup>253</sup>. Se aplicaron también políticas preferenciales a este grupo de empresas en términos de impuestos, préstamos, subsidios, personal y protección intelectual, con especial interés en el desarrollo de la industria del *software* y circuitos integrados (UNESCO *Science Report*, 2010).

En la quinta etapa o época más actual, se contempla dentro del Plan de Mediano y Largo Plazo para el Desarrollo de Ciencia y Tecnología (2006-2020), el despliegue de un sistema nacional de innovación endógeno centrado en resolver los grandes retos para el desarrollo nacional, regional y de la industria. Las estrategias que dan continuidad a una política que data de más de tres décadas son las siguientes:

- 1) Se ha establecido un esquema diversificado de inversión para financiar megaproyectos nacionales de ciencia y tecnología, para la industrialización de alta tecnología, la asimilación de tecnología avanzada importada y para fomentar la exportación de productos de alta tecnología. El gobierno chino agrupó las tecnologías de carácter prioritario dentro de cinco grupos: tecnologías en los campos de energía; recursos del agua y protección del ambiente; tecnologías de la información, materiales avanzados y manufactura; biotecnología y su aplicación en los campos de agricultura, industria y salud; tecnología naval y aeroespacial; y por último tecnología de ciencias básicas y de frontera. Paralelamente se ha mejorado el esquema legal en la innovación, de tal manera que sea más fácil al capital de riesgo invertir en *start-ups*. Se ha estructurado un mercado de capital múltiple para apoyar la innovación endógena, incluyendo un mercado de valores para pequeñas y medianas empresas de base tecnológica.

---

<sup>253</sup> A finales de 1999, 131 se habían fusionado a grandes empresas, 40 se habían convertido en empresas, 18 habían pasado a ser organizaciones de servicios tecnológicos y 29 se habían consolidado en 12 grandes empresas independientes de base tecnológica (UNESCO *Science Report*, 2010).

- 2) En 2007 el Ministerio de Ciencia y Tecnología compiló una lista de tecnologías y productos clave, con la finalidad de promover su desarrollo dentro del sistema nacional de ciencia y tecnología. El gobierno apoya el establecimiento de estándares tecnológicos y estimula a las empresas a establecer estándares de tecnologías endógenas junto con universidades y centros de investigación, e integrar estas normas en I&D, diseño y manufactura. Además se ha creado un ambiente propicio para la protección de los derechos de propiedad intelectual con la promulgación de leyes y regulaciones más efectivas, que recompensen a los inventores y a los principales contribuyentes en la comercialización de derechos de propiedad intelectual en manos de organizaciones públicas. Se ha establecido un servicio de información de patentes en apoyo a las empresas y se ha acortado el ciclo de revisión para el otorgamiento de patentes.
  
- 3) La principal fuente de conocimiento para acelerar la construcción de capacidades de innovación dentro de los proyectos nacionales clave, es mediante la asimilación de tecnología extranjera, estimulando la importación de tecnología avanzada para el diseño y manufactura. Razón por la cual, el gobierno concede alta prioridad a las empresas extranjeras preparadas para transferir tecnología a China. Por otro lado, para promover la cooperación entre empresas, universidad e institutos de investigación, el gobierno apoya a las empresas en sus esfuerzos para establecer centros de desarrollo tecnológico y laboratorios de ingeniería nacional. Contando también con la preferencia dentro del sistema de compras del gobierno, por los productos innovadores endógenos.
  
- 4) Se han formulado políticas preferenciales adicionales que permiten mejorar las instalaciones e instrumentos experimentales de las empresas. Por ejemplo, el gobierno participa con el 12.5% del gasto de la empresa en I&D a través de la deducción de impuestos. Las empresas tienen derecho a deducir los aranceles y el impuesto al valor agregado de bienes importados, que son utilizados en proyectos dentro de programas de ciencia y tecnología. Con el fin de promover la mediana y pequeña empresa, los incentivos fiscales se extiende también al capital de riesgo y a

las organizaciones activas al servicios de la ciencia y tecnología, tales como parques científicos en las universidades e incubadoras de empresas de base tecnológica. También, se estimula la participación de las organizaciones sociales en el apoyo a la innovación vía donaciones deducibles de impuestos.

- 5) A través del Programa de Reclutamiento de Expertos Globales, China ha contratado a más de 800 científicos extranjeros y otros expertos (la meta es contratar 2000 más en los próximos diez años) para dirigir laboratorios nacionales, empresas e institutos de investigación previamente seleccionados. Conjuntamente a este esfuerzo, también se están repatriando científicos e ingenieros chinos que viven en el extranjero<sup>254</sup> (UNESCO *Science Report*, 2010).

### **3.3.2 Política de ciencia y tecnología de China en los Sistemas Micro-Electromecánicos o MEMS**

La manifestación del interés por la tecnología MEMS en China inició en 1989, cuando la Fundación de Ciencias Naturales de China aprobó el primer proyecto de investigación de MEMS, recibiendo impulso durante el octavo (1991-1995) y noveno plan quinquenal (1996-2000). Desde entonces recibe apoyo del Ministerio de Ciencia y Tecnología, el Ministerio de Educación, la Academia China de Ciencias, la Comisión de Ciencia-Tecnología e Industria para la Defensa Nacional y de gobiernos locales como Beijing, Shanghai y la provincia Zhejiang. Durante el décimo (2001-2005) y onceavo plan quinquenal (2006-2010), el financiamiento de la tecnología MEMS se ha realizado principalmente a través de:

- El Programa 863, el cual promueve tecnologías de frontera con potencial para fomentar nuevas industrias y crear propiedad intelectual. El programa se compone de dos clases de proyectos: proyecto orientado hacia la exploración en etapa temprana, con un apoyo de 76 mil dólares y proyecto orientado hacia objetivos de aplicación, con un apoyo de 146 mil a un millón de dólares, en un período de uno a

---

<sup>254</sup> Se les ha concedido permisos para entrar y dejar el país, trabajar en el extranjero y a su regreso continuar trabajando en China. Se les permite igualmente remitir sus ganancias después de impuestos, un derecho reservado a trabajadores extranjeros en China (OECD, 2008).

dos años con posibilidad de renovación. Este programa se ha enfocado hacia el diseño de MEMS, incluyendo herramientas CAD/CAM (*computer-aided design/computer-aided manufacturing*); tecnología clave para la comercialización de MEMS abarcando fabricación, empaque, pruebas en línea, procesos y equipo de manufactura; y dispositivos MEMS aplicados en el área médica, petroquímica, automotriz y electrónica de consumo.

- El Programa 973, que financia investigación básica en áreas de frontera por períodos de cinco años, bajo la supervisión de un científico principal o líder y cuyo proyecto es evaluado a los dos años para continuar el financiamiento. Bajo este programa fundamentalmente se ha investigado en torno a NEMS (*Nanoelectromechanical Systems*), BioMEMS y sistema en un empaque (SiP, siglas en inglés).
- Y la Fundación de Ciencias Naturales de China que apoya proyectos fundamentalmente de ciencia aplicada, con montos que van de 29, 300 dólares a 1.5 millones de dólares según el grado de importancia del proyecto.

La estrategia de China se dirige firmemente hacia el establecimiento de su propia base industrial de MEMS y lograr el dominio en las etapas de materiales, diseño, fabricación, pruebas, procesamiento, equipo y sistema de integración de MEMS, así como en técnicas claves con estándares competitivos internacionales, y la consiguiente protección de patentes que incentiven la aplicación de la investigación básica. En la transición de su plan estratégico, se propone el desarrollo de dispositivos y sistemas de integración de MEMS a pequeña escala, multi-variados y de alta calidad, con la idea de construir la base para una futura industrialización a mayor escala, centrándose en la innovación de dispositivos médicos, consumo de electricidad, electrodomésticos y otras aplicaciones<sup>255</sup>.

---

<sup>255</sup> Cabe mencionar de forma especial, que en el marco de seguridad nacional China ha introducido la aplicación de la tecnología MEMS en el área militar desde 1986 bajo el auspicio del Programa 863, como respuesta a una iniciativa estratégica de defensa contra Estados Unidos. China está desarrollando desde entonces tecnologías de apoyo para la construcción de misiles balísticos anti-buques como respuesta ante una posible infracción de la soberanía territorial china en el Pacífico occidental. A partir de este escenario se investiga sobre una gran variedad de tecnologías que van desde la aplicación general de misiles, tecnología de

De acuerdo a un reporte elaborado por Sun Lining<sup>256</sup> acerca de la estrategia china a desarrollar en los MEMS, ante el reto que esto significa, se sigue una serie de pasos que ayuden a lograr las metas de especialización en esta tecnología:

1) Concentrar la energía y unificar el liderazgo tratando de romper con las limitaciones del departamento y el distrito (se busca una cooperación regional), en un intento de mejor competencia y selección, mientras se distribuyen fondos para proyectos promisorios asignándose a grupos de expertos con énfasis en construir la base en toda la cadena de valor de los MEMS. Se intenta establecer una red de fabricación avanzada y maquinaria básica, para evitar duplicar la investigación y la dispersión de proyectos, con la idea de racionalizar recursos humanos, fondos financieros y equipo. Dada la dimensión territorial de China y la naturaleza de la tecnología de los MEMS (requiriendo de una estrecha colaboración entre el grupo de diseñadores y el grupo de procesos de fabricación), es difícil hablar de una sola plataforma nacional de fabricación, se estima que hay cerca de 30 centros de procesamiento de MEMS para coadyuvar en la investigación (instalaciones para realizar fabricación, pruebas y empaquetamiento), muchos de ellos asociados con instituciones de investigación o universidades, entre los más importantes están el Laboratorio Nacional Clave de Micro/Nano Tecnologías de Fabricación que alberga la Universidad de Pekin, proveyendo servicios a la industria nacional e internacional como a grupos académicos; el Laboratorio Estatal Clave de Tecnología de Transductores en el Instituto Shanghai de Microsistemas y Tecnologías de la Información, en la Universidad Politécnica del Noroeste, Universidad

---

orientación precisa, tecnología de *software* y computación, tecnología satelital, tecnología de sensores de radar, tecnología de simulación, tecnología opto-electrónica, tecnología inercial, tecnología de aviones, características de objetivo, control de señal y tecnología MEMS (sistemas electromecánicos micro maquinados compactos que ofrecen incrementos significativos en precisión y requieren mucho menos espacio que las unidades de medida inercial tradicional). Los sensores a bordo están diseñados para soportar condiciones extremas del medio ambiente (calor extremo, frío extremo, vibración, y fuerzas de gravedad), procesamiento de información a velocidad relámpago, y generar suficiente poder de radiofrecuencia para adquirir y seguir un móvil en movimiento en el mar. En el proyecto del área militar, la industria de China se ha enfocado en el desarrollo avanzado de MEMS como un medio de reducir el peso de los sistemas de orientación. La tecnología MEMS permite el embalaje de millones de instrucciones por segundo dentro de un muy pequeño espacio con muy poco consumo de energía. En especial se ha enfocado en la aplicación para el desarrollo de un vehículo cinético basado en el alto rendimiento de los MEMS, con acelerómetros de tres ejes o giroscopios miniatura que permiten unidades de medición inercial pequeños. Además, la utilidad de los MEMS está siendo aplicada en los fusibles para detonar la ojiva después de penetrar estructuras endurecidas (Stokes, 2009: 3-22).

<sup>256</sup> Es un investigador que forma parte del grupo de expertos en MEMS del Programa Nacional 863 en China. En 2002 presentó la ponencia “*Review of MEMS Development and the Developing Strategy of MEMS in China*” en *China-E.U Forum of Nanosized Technology*.

Xiamen, etc. No obstante el gran avance en la dotación de instalaciones y equipo, la *foundry* para negocios y comercialización, aun no está totalmente desarrollada.

2) Establecer mecanismos de innovación, que combinen la investigación básica de MEMS con la investigación de procesos y equipo de esta tecnología, enfocándose en potenciales aplicaciones para incursionar en nichos de mercado de demanda domestica (sector automotriz, electrónica de consumo y médica), bajo la supervisión gubernamental y la contribución de inversiones locales y empresariales. Tras de 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. Sin embargo, la mayoría de los dispositivos y sistemas desarrollados en los laboratorios de investigación no cumplen todavía con los requisitos de un prototipo. Se calcula que hay aproximadamente 50 pequeñas empresas especializándose en diseño, fabricación y comercialización de MEMS en China, la mayoría trabajando en alguna capacidad con empresas extranjeras o de alguna forma relacionada con algún especialista repatriado (como el caso de MEMSIC Inc. e IntelliSense). En general, gran parte de las empresas de origen genuinamente chino han sido *spin-off* de institutos de investigación o universidades. Los diversos dispositivos tienen un grado diferenciado de avance en China: en ciertas áreas tales como sensores de presión que implica relativamente tecnología simple o madura, se ha logrado cierta comercialización; en términos de tecnología más sofisticada como los micrófonos, sólo pocas empresas han hecho progresos; en los sensores inerciales, las empresas locales aún están trabajando hacia la producción en masa de acelerómetros y giroscopios para el mercado de electrónica de consumo; pocas empresas pueden proveer acelerómetros y giroscopios para el mercado aeroespacial (se han utilizado algunos micro sensores en la nave espacial Shenzhou), de defensa nacional o exploración de petróleo; y en el mercado médico pocos dispositivos han sido comercializados, fabricándose a pequeña escala (*biochips*, analizadores micro bioquímicos o cápsulas endoscópicas).

3) Promover el desarrollo de recursos humanos mediante la captación de talento nacional y del extranjero, fomentando activamente el intercambio y cooperación internacional en investigación de MEMS, con el fin de elevar el nivel de investigación en China.

4) Se intenta dar un salto cualitativo en el diseño, procesamiento y fabricación de MEMS, explotando aquellas técnicas con valor intelectual independiente (es decir, se alienta el desarrollo de tecnología endógena). En cuanto al establecimiento de estándares tecnológicos, la variedad y complejidad que implica esta tecnología crea grandes dificultades incluso a nivel internacional, cuyo progreso es muy lento. Sin embargo, en 2008 se fundó, *The National Technical Committee 336 on Microelectromechanical Technology of the Standardization Administration of China*, con la intención indudable de formar parte activamente del escenario internacional (*Asian Technology Information Program (ATIP): MEMS Research and Commercialization in China*, 2010).

### **3.3.3 Financiamiento nacional en ciencia y tecnología. Gasto en investigación y desarrollo en China**

De acuerdo a datos de la OECD, el gasto interno bruto en I&D (GIBID) en China se ha casi triplicado en los últimos siete años (2005-2012) a un monto de 213.12 mil millones de dólares, reportando en 2012 una proporción del GIBID con respecto al PIB de 1.98%. El gobierno Chino se ha propuesto como meta incrementar paulatinamente la intensidad de I&D hasta alcanzar eventualmente el 2.5% del PIB en el año 2020, con tal éxito que desde 2009 se ha convertido en el país que más gastó en I&D después de Estados Unidos. La investigación ha sido fuertemente orientada hacia la I&D aplicada y experimental, abarcando en combinación más del 94% del GIBID (ver cuadro 1).

Las empresas han asumido un papel activo en el gasto de I&D, dando cuenta de más de 75% del GIBID, sin olvidar que su incremento se debe en parte al resultado de la conversión desde 1998 a 2003 de aproximadamente 1149 instituciones públicas de investigación en entidades empresariales de base tecnológica o agencias de servicio tecnológico (los datos sobre I&D se han añadido a las estadísticas del sector empresarial

desde el año 2000). Por otro lado, el incremento se atribuye también a que cada vez más empresas consideran que la capacidad de innovación es una competencia esencial, percibiéndose además que cada vez más empresas chinas globalizan sus actividades de I&D (Huawei por ejemplo, estableció cinco institutos de investigación en *Silicon Valley* y Dallas-E.U., Bangalore-India, Suecia y Rusia). Otras acciones encaminadas a la adquisición de tecnología han sido la absorción de compañías de marca (por ejemplo, la división de computadoras de IBM por Lenovo<sup>257</sup>), la transferencia por empresas extranjeras (dado el gran atractivo de su mercado, de las exenciones fiscales y otras ventajas, como la capacidad negociadora del gobierno central) o por generación endógena (Hawei compete internacionalmente con las principales empresas de telecomunicaciones del mundo).

**CUADRO 1**

GASTO INTERNO BRUTO EN I&D EN CHINA POR SECTOR DE EJECUCIÓN Y ORIGEN DE FONDOS (Millones de dólares a precios constantes 2005)					GASTO POR SECTOR Y TIPO DE I&D PORCENTAJE DEL GIBID				
AÑO	TOTAL	GOBIERNO	EMPRESAS	UNIVERSIDADES	EMPRESAS %	GOBIERNO %	UNIVERSIDADES %	% INVESTIGACIÓN BÁSICA	% INV. APLICADA Y DESARROLLO EXPERIMENTAL
2000	30,401.08	9,567.81	18,228.67	2,604.61	59.96	31.47	8.57	5.2	94.8
2001	34,672.66	10,312.86	20,954.66	3,405.14	60.44	29.74	9.82	5.3	94.6
2002	42,569.57	12,209.49	26,045.59	4,314.18	61.18	28.68	10.13	5.7	94.3
2003	49,617.92	13,441.31	30,945.82	5,230.79	62.37	27.09	10.54	5.7	94.3
2004	59,263.85	13,605.49	39,602.16	6,056.19	66.82	22.96	10.22	6	94.1
2005	71,054.90	15,483.07	48,544.45	7,027.38	68.32	21.79	9.89	5.4	94.6
2006	83,902.46	16,532.58	59,636.15	7,733.73	71.08	19.70	9.22	5.2	94.8
2007	96,304.01	18,522.72	69,613.16	8,168.12	72.28	19.23	8.48	nd	nd
2008	111,182.71	20,332.88	81,452.21	9,397.61	73.26	18.29	8.45	nd	nd
2009	140,603.49	26,300.97	102,957.15	11,345.37	73.23	18.71	8.07	nd	nd
2010	160,493.95	29,083.21	117,837.41	13,573.33	73.42	18.12	8.46	nd	nd
2011	183,167.34	29,916.20	138,726.57	14,524.56	75.74	16.33	7.93	nd	nd
2012	213,118.99	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Fuente: OECD.StatExtract, *Research and Development Statistics*.

Asimismo, las compañías extranjeras han establecido laboratorios de I&D<sup>258</sup> para aprovechar la cercanía de los usuarios finales y hacer uso de los recursos humanos de bajo

<sup>257</sup> Estas empresas han surgido de instituciones públicas de investigación, p.e., el antecesor de Lenovo, *Legend* fue incubado en el Instituto de Tecnología Computacional de la Academia China de Ciencias; *Founder Electronics* es un *spin-off* de la Universidad de Beijing y *Tsinghua Tongfang* proviene de la Universidad de Tsinghua. Algunas de estas exitosas compañías están invirtiendo en I&D en el extranjero (OECD, 2008).

<sup>258</sup> Se estima de acuerdo a datos oficiales, que hay 750 centros de I&D extranjeros en China ubicados principalmente en Beijing y Shanghai (OECD, 2008).

costo, estimándose (tomando en cuenta las limitaciones de los datos) en promedio una aportación del 25 al 30% de la I&D en el sector empresarial. La I&D de estas empresas extranjeras está altamente concentrado en las industrias de tecnologías de comunicación e información (*software*, telecomunicaciones, semiconductores y otros productos de tecnologías de la información), farmacéutico y automotriz, considerándose de forma estimativa que aproximadamente una décima parte de estos centros realizaban realmente investigación dirigida hacia la innovación (OECD, 2008).

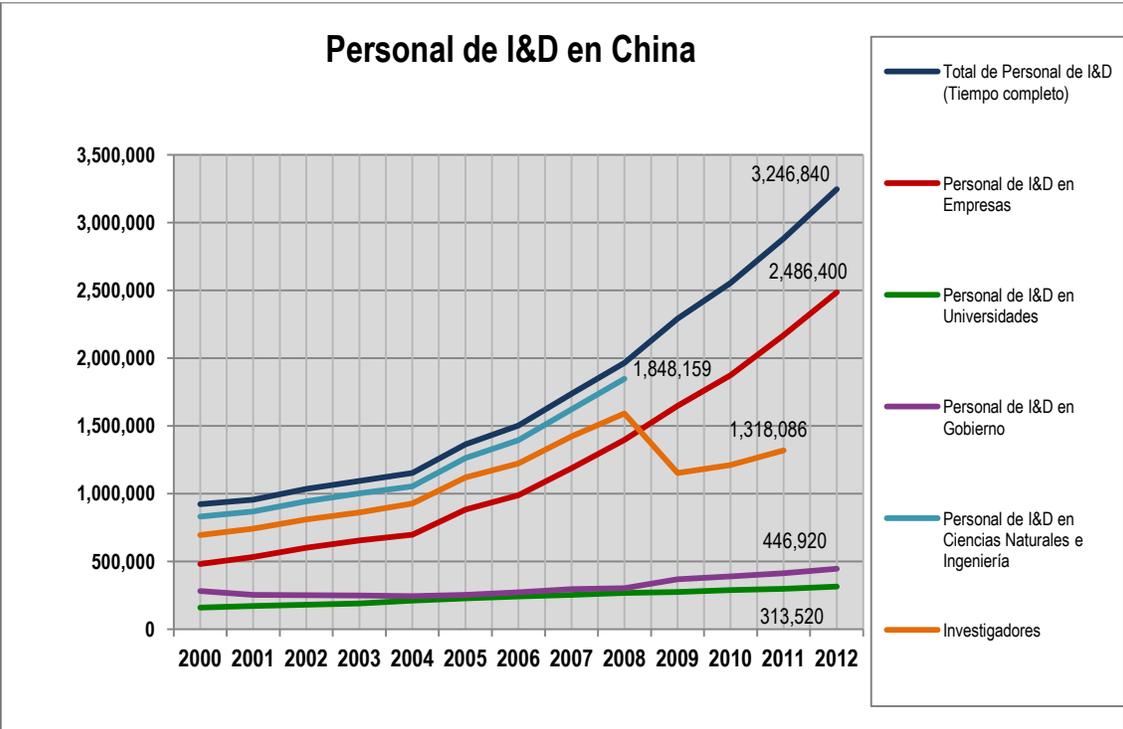
### **3.3.4 Recursos humanos en ciencia y tecnología en China**

China intenta a un paso ágil cerrar el sesgo con respecto a los países occidentales, incrementando el total de su personal de I&D casi 3.5 veces entre 2000 (922,131) y 2012 (3,246,840), como resultado del proceso para implementar centros nacionales de I&D con personal altamente calificado. La mayor parte de los recursos humanos de I&D se encuentra concentrado en el sector empresarial, representando en 2012 el 76.58% del total, en cuyo salto ha incidido la transformación de los institutos de investigación de propiedad gubernamental en empresas y últimamente el financiamiento para investigaciones posdoctorales en las empresas, aunado al hecho de que se les concede incentivos fiscales a las empresas que invierten en educación y programas de entrenamiento (*OECD, Science, Technology and Industry Outlook 2012*). Mientras que las instituciones de investigación pública ha disminuido su participación progresivamente de 17.27% en el año 2000 a 9.66% en 2012, al igual que las universidades que representaban 30.59% en el año 2000 se redujo drásticamente a 13.76% en 2012 (ver gráfica 1).

Asimismo, el acervo de científicos ha crecido en los últimos 15 años a una tasa promedio anual de 6.03% registrando en 2011 la cifra de 1,318,086 investigadores. El número de investigadores como porcentaje del total de personal de I&D en 2011 ha pasado a representar el 45.72%, observándose un decremento importante desde 2009 (50.29%) cuando entre 2000-2008 la proporción se mantenía alrededor de 79.65%. El cambio drástico de lo anterior puede tener una posible explicación, en que a partir de 2009 en China se realizó la recopilación de datos de acuerdo a la definición de “investigador” del

Manual Frascati, mientras que los años anteriores se rigieron por el concepto de “científico e ingeniero” de la UNESCO. El ajuste de estadísticas con respecto a la cantidad de investigadores, indica que en 2011 más de 50% del personal de I&D estaba formado por técnicos y otro personal de apoyo. De acuerdo a los datos registrados en la OECD, el 90.88% de la I&D realizado por los investigadores durante el período 2000-2008, se había enfocado en ciencias naturales e ingeniería (que también abarca ciencias de la salud y agricultura).

**GRÁFICA 1**



Fuente: OECD.StatExtract, *Research and Development Statistics*.

Desde 1999, el sistema de educación universitario deliberadamente se ha expandido a causa de la política china para transitar a un modelo de educación de masas, que a mediano y largo plazo se espera le ayudará a escalar en el posicionamiento competitivo dentro de las industrias de alta tecnología. La composición de la matrícula por lo tanto, cambió radicalmente con un aumento de forma moderada en medicina, ciencias y agricultura, y un rápido crecimiento en el ingreso a carreras de ingeniería (lo cual provee de una amplia base para actividades de investigación con fuerte orientación hacia la investigación aplicada). El

énfasis en la formación de áreas de ingeniería según algunos expertos permitirá a China en un futuro cercano, una mejor absorción de la tecnología de naciones avanzadas y su adaptación a industrias nacionales. Sin embargo, de acuerdo a la opinión de la comunidad internacional de negocios, China debe todavía mejorar la calidad en el sistema de educación de ciencia y tecnología. De igual forma, falta en la experiencia técnica de científicos e ingenieros chinos capacidades de dirección, producción y comercialización<sup>259</sup>. El auge de las disciplinas de ingeniería en China y el enorme acervo que se está educando, se encuentra también bajo polémica, considerando que sus estadísticas son inexactas y engañosas. La razón en parte se atribuye a que China ha heredado el legado soviético de un modelo de desarrollo que utiliza el término “ingeniería” para asociarse con instituciones o proyectos de ciencia y tecnología, sin implicar necesariamente un contenido de ingeniería pura. Cantidad y calidad de ingenieros es un tema de sumo interés para países como Estados Unidos, China e India porque se considera que la educación en ingeniería y la fuerza laboral científica, son los ingredientes esenciales para el desarrollo económico y la competitividad tecnológica basada en la innovación. Esto último, necesita además de las habilidades técnicas, capacidad de comunicación y visión de negocios (Gereffi, Wadhwa, Rissing y Ong; 2008). El gobierno chino ha introducido un esquema de recompensa para los inventores con el fin de estimular la innovación en las empresas, consistiendo en una participación de las ganancias netas por concepto de derechos de propiedad intelectual durante un período de tres años (OECD, 2008).

Las universidades son la clave de la infraestructura del conocimiento y el pilar de la relación universidad-industria en China, tratando de actualizar e incluir en sus programas educativos las necesidades de la industria.<sup>260</sup> En la ejecución de este rol, las universidades

---

<sup>259</sup> El debate en torno a la calidad que un ingeniero debería tener para emplearle en el mercado laboral global, condujo a la realización de un informe en 2005 por el Instituto Global McKinsey, buscando criterios para evaluar la elegibilidad de ingenieros de todas partes del mundo. En resumen, se planteó una encuesta a 87 empresas operando en todo el mundo y concluyendo que 80.7% de los ingenieros de E.U. eran elegibles para un empleo en comparación a 10% provenientes de China y 25% de India. Las barreras para los ingenieros extranjeros cualidad de la educación, dificultades culturales y la falta de accesibilidad a los principales centros urbanos, en menor medida la habilidad de la lengua inglesa fue una preocupación (Gereffi, Wadhwa, Rissing y Ong; 2008).

<sup>260</sup> Por ejemplo, la Universidad de Shanghai Jia Tong modifica continuamente su programa en ingeniería automotriz, creando nuevas especialidades en respuesta a los nuevos desarrollos del diseño automotriz. El *Suzhou Industrial Park Institute of Vocational Technology*, ha introducido un modelo de entrenamiento

han participado por ejemplo en 2005 con cerca del 8% del valor contratado en el mercado de tecnología<sup>261</sup> y con el 20% de las patentes concedidas por la Oficina China de Propiedad Intelectual. Asimismo, el sistema de ciencias chino está bien conectado internacionalmente, visible en la coautoría de publicaciones con investigadores de E. U. y Japón, extendiendo su colaboración en diferentes disciplinas con instituciones asiáticas principalmente y países anglosajones (OECD, 2008).

En relación a los MEMS, China ha logrado con el apoyo de los gobierno nacional y locales formar una masa crítica de investigadores de alto nivel dedicados a la I&D de los MEMS y una buena infraestructura para ejecutar todas las etapas de la cadena de valor. En la década de 1980s, los investigadores seguían el trabajo realizado por grupos internacionales, avanzando para la década de 1990s en el concepto de dispositivos y aplicaciones preliminares, mientras que entre 2001-2005 progresaron significativamente en fabricación, dispositivos y sistemas, particularmente en áreas de tecnología de la información, ciencias de la vida y aeroespaciales, bajo la directriz gubernamental. La investigación de MEMS es principalmente conducida por instituciones de investigación y universidades financiada por el gobierno, estimándose alrededor de 120 centros realizando I&D en el campo de los MEMS. Los principales grupos se encuentran en la Universidad de Tsinghua, Universidad de Pekin, e Instituto Shanghai de Microsistemas y Tecnologías de la Información. Otra fuente de información, un informe realizado en 2007 por la fundación japonesa *Micromachine Center* sobre las tendencias en la investigación de nano y micro tecnologías en China, calculaba la existencia de 140 grupos conduciendo investigación en relación con MEMS (3000 investigadores en total) y 50 grupos enfocados específicamente en MEMS (1452 investigadores en total)<sup>262</sup>. Después de una década de experiencia se ha acumulado conocimiento en campos tales como micro sensores, micro ejecutores, prototipos de sistemas micro, etc. (*Asian Technology Information Program (ATIP): MEMS Research and Commercialization in China*, 2010).

---

“dirigido a la orden”, bajo el cual se seleccionan estudiantes junto con empresas y cooperan entre ellos para diseñar laboratorios, especialidades, cursos y programas educativos (OECD, 2008).

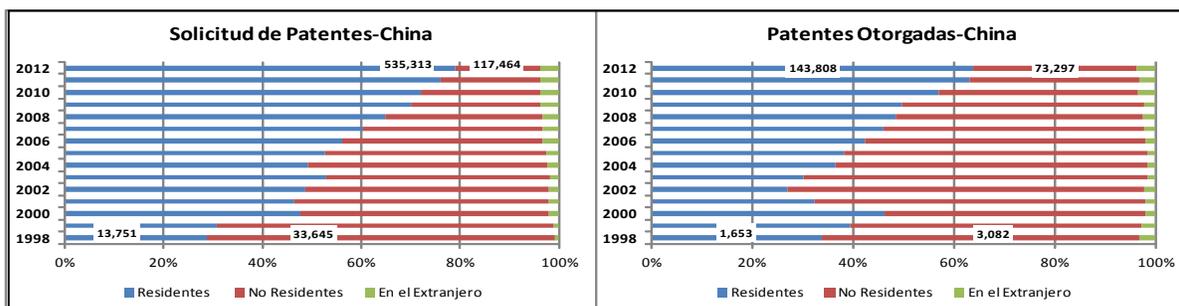
<sup>261</sup> El mercado de tecnología se refiere a la entidad física que se establece para facilitar la transferencia tecnológica entre vendedores y compradores de tecnología y servicios tecnológicos. El primero fue creado en 1984 en Wuhan y estaba compuesto de cerca de 60 oficinas tecnológicas en instituciones de investigación, universidades y empresas del área (OECD, 2008).

<sup>262</sup> Esta información se encuentra en la revista trimestral MICRONANO no.59.

### 3.3.5 Patentes en China con datos puntuales sobre invenciones de MEMS

China se ha convertido en un país prolífico en términos de solicitud y otorgamiento de patentes domésticas, siendo de interés mencionar que por primera vez, este país en 2012 fue el principal solicitante con 560 681 patentes entre residentes más patentes en el extranjero (en comparación a Japón donde se solicitaron 486 070 patentes y 460 276 en Estados Unidos) (ver gráfica 2). Desde 1998 a 2012 se ha incrementado su acervo de solicitudes de patentes a una tasa de crecimiento anual de 29.9%, mientras que las patentes concedidas de forma doméstica han crecido a una tasa anual promedio de 9.34%, alcanzando en 2012 un monto de 143,808 patentes domésticas y 8294 patentes en el extranjero (como punto de referencia Estados Unidos obtuvo 107,892 patentes en el extranjero). La proporción de solicitud de patentes nacionales en China, entre 1998-2012 se ha incrementado rápidamente de 29.87% en 1998 a 85.89% en 2012, en tanto que las patentes otorgadas han transitado de representar 37.09% en 1998 a 67.48% en 2012. Una posible causa de este incremento en la solicitud de patentes es la promoción de una nueva Estrategia Nacional de Propiedad Intelectual adoptada en 2008, con un fondo especialmente asignado en 2009, para apoyar patentes internacionales y otras disposiciones provisionales a nivel nacional que contribuyan a gestionar la propiedad intelectual de grandes proyectos (OECD *Science, Technology and Industry Outlook*, 2012). En la solicitud de patentes a escala internacional dentro del Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT) gestionada por la WIPO, se destacan la rápida progresión entre 2000-2012 de las solicitudes de patentes por empresas chinas como *Huawei Technologies Co. Ltd.* y *ZTE Corporation*, esta última manteniendo el liderazgo al pasar de 329 solicitudes en 2008 a 3,906 en 2012.

GRÁFICA 2



Fuente: *World Intellectual Property Organization (WIPO)*, Perfiles estadísticos de los países.

Específicamente sobre la tecnología MEMS, la información de patentes que la WIPO ha colectado es bastante sorprendente, ubicando a China como el segundo país después de Estados Unidos en solicitar patentes en este rubro con 2825 patentes durante el período 2004-2013 (que comprende a residentes y no residentes). Las principales empresas solicitantes son dos empresas trasnacionales, *Qualcomm MEMS Technologies* e IDC; LLC y cinco universidades chinas entre otras instituciones académicas, cuya dominación en el ámbito de los MEMS sugiere que la comercialización de los mismos se encuentra todavía en una etapa embrionaria. Los inventores con mayor registro de patentes son cuatro extranjeros que laboran en las empresas *Qualcomm MEMS Technologies* e IDC; LLC, y cinco inventores chinos, algunos de los cuales pertenecen a instituciones académicas (como se muestra en el cuadro 2) pero también se cuenta con la participación de inventores de empresas chinas (*Shanghai Lexvu Opto Microelectronics Co.*, *Jiangsu Lihen Electronic Co.* y *Shanghai Universal Opto-Electronics Technologies Co., Ltd.*) (véase cuadro 2).

En general puede concluirse, que China está preparando el terreno para incursionar de forma contundente en la industria de MEMS como parte de la estrategia de desarrollo de industrias de alta tecnología.

Por otro lado, el número de artículos internacionales en temas de ciencia e ingeniería de acuerdo a datos del Banco Mundial, en su portal de ciencia y tecnología, en el período de 2009-2013 fue de 74,019 artículos en publicaciones científicas y técnicas (p.e. Estados Unidos reportó en el mismo período 208,601 publicaciones), el sesgo con respecto a otros países se atribuye a que habitualmente no se publica en inglés y que el grosso de los investigadores en las universidades se dedican a investigación experimental, mientras que el personal del sector privado no tiene como objetivo principal publicar sus resultados. En relación a los MEMS, la plataforma de información **Thomson Reuters Web of Knowledge, hoy en día Web of Science**, indicaba que entre 1970-2009 se publicaron 2,225 artículos sobre MEMS, dando cuenta del 9.5% del total de publicaciones sobre este tema en todo el mundo (24,045) y detrás de Estados Unidos con 9,287 artículos en el mismo período (38.62% del total mundial) (OECD, 2008 y *Asian Technology Information Program (ATIP): MEMS Research and Commercialization in China*, 2010).

**CUADRO 2**

PATENTES DE MEMS EN CHINA									
PAÍS	TOTAL DE PATENTES	PATENTES POR CAMPO DE TECNOLOGÍA	NO.	PRINCIPAL SOLICITANTE DE PATENTES SOLICITADAS	NO.	PRINCIPAL INVENTOR	NO.	FECHA DE PUBLICACIÓN	NO.
China		B81B	689	Qualcomm MEMS Technologies, Inc. (E.U)	151	Liao Xiaoping (Univ. Del Sureste y Univ. de Dongnan)	67	2004	59
Solicitadas	2825	B81B	595	IDC LLC (E.U)	57	Chui Clarence (Qualcomm T. e IDC LLC)	20	2005	168
		G02B	436	Universidad del Sureste (China)	54	Zhang Weiping (Univ. De Shanghai Jia Tong)	19	2006	212
		H01L	283	Universidad de Shanghai Jiao Tong (China)	42	Kothari Manish (Qualcomm T. e IDC LLC)	18	2007	186
		H04R	162	Universidad de Pekín (China)	42	Mao Jianhong (Shanghai Lexvu Opto Microelectronics Co. Y Jiangsu Lihen Electronic Co.)	14	2008	204
		G01P	151	Universidad de Tsinhgua (China)	38	Cumming William J. (Qualcomm T. e IDC LLC)	14	2009	263
		G01C	147	Universidad del Norte de China	37	Sampsel Jeffrey B. (Qualcomm T. e IDC LLC)	13	2010	293
		G01N	143			Fang Jiancheng (Univ. Aeronáutica y Astronáutica de Beijing, Univ. Bei Hang, Univ. Aeroespacial de Beijing)	13	2011	391
		H01H	129			Shanghai de Microsistemas y Tecnología de la Información, Shanghai Universal Opto-Electronics Technologies Co., Ltd.)	11	2012	529
		G09G	109					2013	441

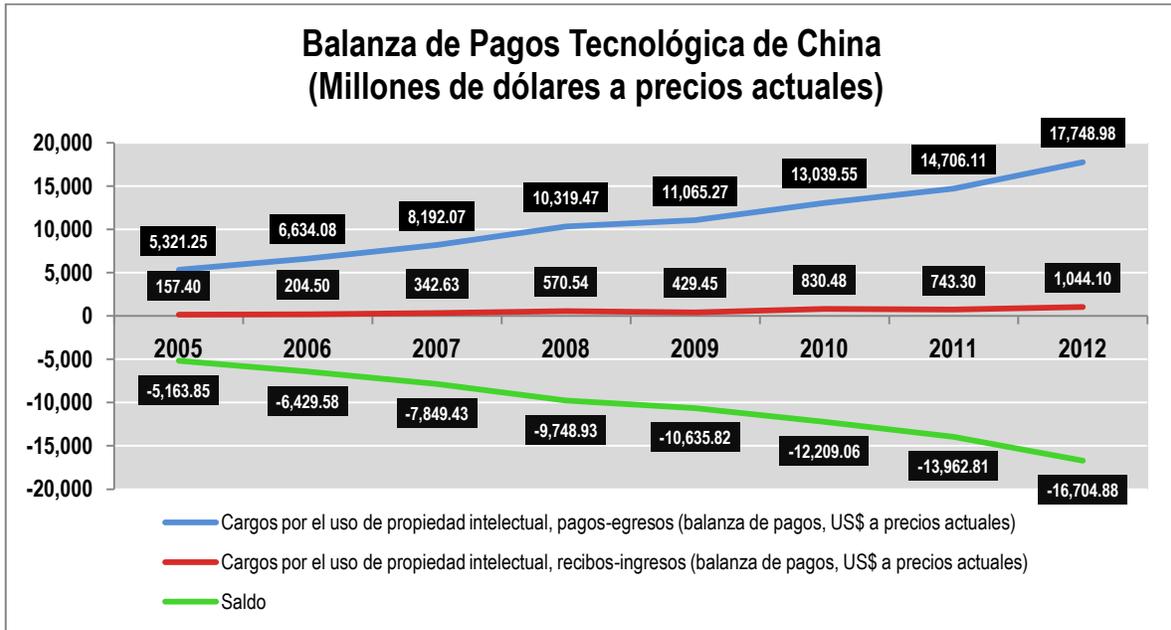
Fuente: *World Intellectual Property Organization (WIPO), PATENTSCOPE.*

### 3.3.6 Balanza de pagos tecnológica de China

A continuación se presenta una estimación aproximada de la balanza de pagos tecnológica (BPT) de China, con datos del Banco Mundial bajo el rubro “Cargos por el uso de propiedad intelectual”, que abarca las regalías y tarifas de licencia entre residentes y no residentes por el uso autorizado de activos intangibles, no financieros, no fabricados, y derechos de propiedad (como patentes, derechos de autor, marcas registradas, procesos industriales y franquicias) y por el uso, en virtud de contratos de licencia, de originales producidos de prototipos (como películas y manuscritos). Esta información no incluye el otro componente de la BPT, es decir, las transacciones relacionadas con la prestación de

servicios con algún contenido técnico o servicios intelectuales (estudios de ingeniería, asistencia técnica, contratación de capacitación entre empresas, y gestión, administración o financiamiento de la I&D llevado a cabo en el extranjero).

GRÁFICA 3



Fuente: Fondo Monetario Internacional, Anuario de Estadísticas de la balanza de pagos y archivos de datos.

Los datos disponibles de 2005 a 2012 muestran una balanza de pagos tecnológica crecientemente negativa, constatando que la estrategia china ha sido la captación de tecnología del exterior a través de múltiples fuentes, entre ellas la compra de propiedad intelectual (patentes, *copyrights* y otros derechos de propiedad intelectual en forma de aspectos técnicos, datos, especificaciones y servicios).

Una limitación en la medición de la BPT es el registro de transferencias entre empresas transnacionales y sus subsidiarias o transferencias intrafirma (Bianco y Porta, 2003). Sin embargo, se sabe que en China se le otorgan importantes incentivos fiscales al sector de alta tecnología y que el Gobierno juega un papel fundamental en la negociación con la inversión extranjera para pactar la transferencia tecnológica. Las empresas extranjeras con el fin de tener acceso al mercado chino se ven obligadas a transigir ante las siguientes condiciones:

- La autorización para la constitución de una empresa conjunta (*joint-venture*) depende del aporte de la tecnología en específico y en ocasiones se impone la asociación con colaboradores chinos que forman parte de la competencia. Cuando se busca ampliar una inversión ya establecida, en algunos casos se condiciona la creación de un centro de I&D u otras formas de transferencia tecnológica.
- En los proyectos de fabricación de máquinas y aparatos es obligatoria la inspección pormenorizada de diseños y modelos industriales por parte de institutos de diseño chinos. En ocasiones, además de la transferencia de documentos técnicos detallados, la empresa extranjera debe capacitar personal chino que en un futuro sea capaz de diseñar equipo sin ayuda externa.
- En la licitación pública de un contrato, el gobierno chino exige que hasta un 80% de la producción se realice localmente. A las filiales chinas de una empresa extranjera se le obliga a trabajar con un contratista chino bajo el acuerdo de la transferencia total de su tecnología<sup>263</sup>.
- Para el ingreso de un producto al mercado chino se necesita la certificación de un instituto de homologación o el otorgamiento de una licencia por un ministerio chino. En determinados casos el procedimiento de homologación requiere la inspección de las fábricas en el lugar de origen de los propietarios de los derechos (*China IPR SME Helpdesk*<sup>264</sup>, *Technology Transfer to China-Guidance for Businesses*).

---

<sup>263</sup> En la negociación de la venta de licencias de uso de tecnología a entidades chinas por la inversión extranjera, la legislación china (Regulaciones sobre Contratos de Importación y las Leyes de Aplicación de los mismos) concede la facultad de hacer uso de los mejoramientos a la contraparte china, si estos son realizados por investigadores o trabajadores chinos.

<sup>264</sup> Es un servicio gratuito que provee a las empresas europeas pequeñas y medianas, con asesoramiento en relación a los derechos de propiedad intelectual en China.

### 3.4 Conclusiones preliminares

En este capítulo se intenta “distinguir dos criterios” a partir de los cuales, cada país ha decidido lineamientos que marcan una ruta para instrumentalizar la ciencia y tecnología en el desarrollo de sectores productivos. A grandes rasgos se puede decir, que las políticas gubernamentales con respecto a ciencia y tecnología dirigidas por China y México en la industria de los MEMS, han sido diametralmente opuestas: en China predomina una intervención gubernamental deliberada para alentar el desarrollo de esta industria, mientras que en México el papel gubernamental ha sido menos activo, limitándose a una regulación casi aséptica del sector privado y a un débil intento de vincular la academia con el sector productivo.

Para comprender los aspectos más importantes de las políticas de ciencia y tecnología de ambos países, se perciben dos modelos de política gubernamental con sus debidas limitaciones. En el caso de China se percibe una estrategia deliberada con base a una planificación, “sustentada en la idea de que el mercado es una herramienta para lograr objetivos económicos y socialmente deseables, delegándole al gobierno el rol para dirigir al mercado hacia tales objetivos”.

Y en el caso de México predomina más bien un criterio<sup>265</sup> que se somete al mercado, “fundado en la idea de que la operación del libre mercado conducirá a la asignación óptima de recursos<sup>266</sup>, de manera que el rol del gobierno se limita principalmente a la regulación

---

<sup>265</sup> No se incluye el término estrategia porque esto implica una serie de medidas para lograr exitosamente un objetivo. Y en el caso de México se percibe una indolencia u omisión del papel gubernamental en los asuntos que le corresponde.

<sup>266</sup> En la entrevista a la coordinadora del Programa de Microsistemas de FUMEC en Octubre de 2010, Guillermina Avendaño, expuso la problemática de entender la convocatoria de programas para electrónica de alta tecnología lanzada por la Secretaría de Economía, en el que se aludía como objetivo principal cubrir “las fallas de mercado”. Este lenguaje revela veladamente que algunos funcionarios del gobierno asumen el criterio de la supuesta eficiencia de los mecanismos de mercado. Se comentaba que el 95% de los proyectos fueron rechazados por la falta de comprensión en los requerimientos, entendiendo desde su perspectiva que una falla de mercado, es la falta de vinculación de una empresa con un nicho de gran valor y la disposición de recursos humanos insuficientes, ya que la universidad no tiene un esquema de trabajo que le permita desarrollar el proyecto.

del sector privado para alcanzar ciertas metas sociales<sup>267</sup> y para proveer de bienes públicos tales como educación e infraestructura”.

Mientras que el criterio que opta por una planificación trata al mercado como un medio para que el gobierno logre determinados fines, el criterio dirigido por el mercado es un fin en sí mismo (un mecanismo de asignación, alternativo para procesos políticos/burocráticos).

El modelo chino se identifica abiertamente con una intervención planificada del Estado en la promoción de industrias de alta tecnología (entre las que se encuentra la industria de los MEMS) y su exposición gradual a las fuerzas del mercado. El Estado ha impuesto la transformación de los centros de I&D en empresas, con políticas que fomentan alianzas con líderes globales en la industria e investigación, medidas que se encauzan fundamentalmente hacia “metas nacionales de independencia tecnológica y propiedad estatal de producción”.

China está más integrada a las redes globales de producción e innovación (algunas etapas de la cadena de valor de los MEMS como ciertas tareas de pruebas y ensamble, se han relocalizado en su territorio), y prácticamente los líderes globales en relación a los MEMS (*Bosch, Qualcomm MEMS Technologies, Honeywell International, Samsung Electronics, Intel Corporation, Texas Instruments, Analog Devices*) se encuentran presentes en China. Además un número creciente de empresas locales han empezado a conducir I&D y un grupo de empresas chinas se especializan en diseño, fabricación y comercialización de MEMS, la mayoría trabajando en alguna capacidad con empresas extranjeras o de alguna forma relacionada con algún especialista repatriado. En general, gran parte de las empresas de origen genuinamente chino han sido *spin-off* de institutos de investigación o universidades. Principalmente se enfoca en la adopción de tecnologías existentes de MEMS para desarrollar nuevos productos y procesos (innovaciones incrementales y frugales) dirigidos al mercado interno. Los diversos dispositivos tienen un grado diferenciado de avance en China, en algunas se ha logrado cierta comercialización utilizando tecnologías

---

<sup>267</sup> Se utiliza estos paradigmas que no son del todo nuevos, ya que desde los clásicos como Adam Smith se discutía en torno al progreso material. Dedrick y Kraemer ejemplifican las metas sociales como las regulaciones de la contaminación o la igualdad de oportunidades.

relativamente simples o maduras, y se han hechos algunos progresos en tecnología más sofisticada.

Se ha formado una masa crítica de investigadores en la tecnología MEMS gracias al apoyo de los gobierno nacional y locales chinos, contando también con una buena infraestructura para ejecutar todas las etapas de la cadena de valor (diseño, fabricación, empaquetamiento o embalaje y pruebas). Además el retorno de cerebros ha dado origen a una comunidad migrante capacitada que puede actuar como portador del conocimiento tácito incorporado de acuerdo a las tendencias tecnológicas del mercado global. Su apertura internacional y notable flexibilidad han permitido por lo menos, tener contacto directo con algunas capacidades necesarias para la dirección e innovación de MEMS.

Por otra parte los proyectos nacionales de ciencia y tecnología en China han puesto especial atención en los mecanismos de estímulo para la innovación de sectores clave en forma de subsidios directos, incentivos en impuestos, préstamos de bajo costo o propiedad gubernamental directa en empresas de alta tecnología. Asimismo, se está fomentando o creando demanda interna a través de políticas que favorecen a los productores locales, como es el caso del decreto gubernamental que obliga a la industria automotriz a incorporar dispositivos MEMS en los vehículos fabricados para el control de emisión de gases de efecto invernadero.

Un factor determinante para la asimilación de conocimiento y habilidades tecnológicas<sup>268</sup> en el ámbito de los MEMS, es la transferencia de tecnología a través de la inversión extranjera directa. También el gobierno Chino alienta a las empresas a desarrollar innovación y adoptar estándares nacionales, de modo que estos estándares puedan convergen integralmente en una cadena de valor interna (I&D, diseño y manufactura). Se motiva la vinculación entre universidad y empresa para crear espacios de cooperación que ayudan a afrontar la complejidad que implica la innovación en la tecnología MEMS.

---

<sup>268</sup> China no replicó las estrategias adoptadas en etapas tempranas por países como Japón y Corea, pero en su lugar realizó una apertura internacional como piedra angular de su estrategia de desarrollo. Ha atraído a la IED hacia actividades previamente seleccionadas (UNESCO, *Report Science* 2010).

Se concluye entonces que el éxito de China no es una coincidencia afortunada, sino más bien el resultado de una serie de políticas de Estado con el propósito de ser coherentes y selectivas para crear condiciones que propicien la generación de conocimiento e innovación de la tecnología MEMS. A través de varios instrumentos de política de ciencia y tecnología, China se ha esforzado activamente en atraer capital, tecnología y especialistas que puedan detonar el desarrollo interno de la industria de los MEMS.

En contraposición, se observa que en el caso de México la política de ciencia y tecnología se rige preferentemente por un criterio de libre mercado, en el cual el Estado desempeña un papel en cierto modo anodino, ya que no se contempla un plan nacional estratégico para integrar y coordinar los diferentes recursos y actores, que conformen una infraestructura competente de ciencia y tecnología. Se percibe en las propuestas oficiales, una intención de promover la participación conjunta de universidades, empresas y Estado, pero dista mucho de explicar con claridad como lograr este objetivo<sup>269</sup>. En una crítica a la iniciativa de ley que proponía investir al CONACYT como órgano supremo de la política en materia de ciencia y tecnología, Alejandro Nadal indicaba que en principio existe un error de diagnóstico, al aislar “las debilidades y el rezago del sistema científico-tecnológico de México (bajo nivel de inversión, pocos científicos, escasa participación del sector privado)...como si en sus orígenes y persistencia nada tuviera que ver con el entorno económico”. La evasión a esta realidad se atribuye al argumento de “dejar al mercado la selección de los sectores ganadores y considerar que cualquier intervención en ese plano distorsiona la asignación de recursos”. La incongruencia es más evidente todavía cuando se pretende avalar un organismo que defina prioridades en investigación científica y tecnológica, pero desvinculado de una política industrial que pueda dotar al sector productivo de capacidad tecnológica endógena<sup>270</sup>. El mercado por sí solo no va a conducirnos al desarrollo tecnológico sin una política industrial congruente y una política macroeconómica más comprometida con los sectores reales de la economía. La dificultad también radica en

---

<sup>269</sup> En la entrevista con la coordinadora Guillermina Avendaño, se expuso el problema del deficiente financiamiento gubernamental a la RED-MEMS, a través de sus programa AERIS-MEMS, el cual aportó un fondo único de 500 mil pesos para la formación de una red de cooperación entre diferentes participantes pero dejando trunco el proyecto (entrevista en Octubre de 2010).

<sup>270</sup> La desvinculación con la realidad mexicana se profundiza aún más cuando se ignoran instrumentos de política macroeconómica, como por ejemplo, cuando la política fiscal impuso restricciones al presupuesto de las universidades afectando a la investigación científica y tecnológica (Nadal, 2002).

conciliar los criterios de rentabilidad a corto plazo del sector privado y el papel de la universidad pública cuya lógica no se rige por un criterio empresarial.

En términos generales se puede decir, que la investigación científica y tecnológica en México no está vinculada con el sector productivo nacional de manera orgánica. Esta situación se explica en parte por la preferencia de tecnologías importadas, que en gran medida se determinan por la aversión del empresario al riesgo, quién opta por tecnologías más seguras y probadas del exterior, profundizándose de esa forma la dependencia externa. Por otro lado, la mayoría de los centros de investigación están incorporados a las instituciones de educación superior o dependen directamente del sector público y su visión general no coincide con la problemática real del sector productivo del país. El mayor esfuerzo de la investigación está orientado hacia la investigación básica y es más un seguidor de las tendencias científicas de países vanguardistas (que cuentan con una infraestructura compleja y eficiente), los cuales dentro de sus comunidades científicas son bastante propositivos en la exploración de soluciones a problemas nacionales.

El sesgo de la tecnología MEMS en México con respecto a los países de vanguardia es abismal, razón por la cual es imperativo idear un plan estratégico que racionalice los pocos recursos con los que se cuenta, explorando aquellos nichos específicos en los que se pudiera incursionar a mediano y largo plazo, de forma que se desarrolle la infraestructura y recursos humanos necesarios.

En principio el objetivo de la RED-MEMS fue el establecimiento de una Plataforma Nacional de Producción de Prototipos MEMS, dividiéndose la cadena de valor entre diferentes centros de investigación: conceptualización y diseño de dispositivos en diversos centros de investigación; caracterización<sup>271</sup> en la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Veracruzana; fabricación de prototipos en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE); encapsulamiento en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez; y por último las pruebas y validación en la Universidad Popular

---

<sup>271</sup> Caracterización significa garantizar que los mecanismos diseñados para cada sistema micro electromecánico ejecuten sus funciones de manera correcta, bajo la simulación de las condiciones ambientales en las que trabajarían en su aplicación comercial o industrial.

Autónoma del Estado de Puebla. Su división de tareas resultaba ideal como opción lógica para racionalizar recursos e infraestructura, pero hasta la fecha todavía no es operacional y la mayoría de las etapas de la cadena de valor continúan realizándose en el extranjero.

Es indispensable en el desarrollo de la tecnología MEMS en México, una masa crítica de especialistas e investigadores de diversos campos de ciencia y tecnología para la conformación de grupos multidisciplinarios. En la actualidad se estima una masa crítica de especialistas en MEMS de aproximadamente 20 personas o tal vez menos<sup>272</sup>. Por la naturaleza transversal de la tecnología, se requiere la retroalimentación de diversas disciplinas, que en el caso de México de acuerdo a la opinión de los especialistas en el tema, existen posibilidades de desarrollo en el área médica (biosensores) y en los materiales a utilizar en la microelectrónica, puesto que se cuenta con excelentes químicos, biólogos y médicos.

El futuro de la tecnología MEMS en México es todavía muy incierto, pero existe el temor de que muy probablemente el empleo de trabajo altamente especializado por parte de empresas transnacionales, desencadene un fenómeno muy similar a lo que acontece en la industria aeronáutica, que se ha dado en llamar “la nueva maquiladora mexicana”<sup>273</sup>. Es decir, la contratación de mano altamente calificada de bajo costo que incuba toda la investigación en el país, generando invenciones cuyo beneficio sea explotado por parte de empresas extranjeras.

---

<sup>272</sup> Como punto de referencia, el Dr. Horacio Estrada del CENAM comentó que en *University of California, Berkeley* el número de egresados especialistas en MEMS es de 100 personas por año.

<sup>273</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.

## **CAPÍTULO 4. LA INNOVACIÓN DE LOS SISTEMAS MICRO ELECTROMECAÑICOS (MEMS): ESTUDIOS DE CASO EN MÉXICO Y CHINA**

### **4.1 Introducción**

En este capítulo la innovación se abordará a partir de una dimensión micro, delimitándose el análisis al espacio donde prima 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 referencial, ya que reivindica una trayectoria no ortodoxa<sup>274</sup> para desarrollar innovaciones en países como México o China, manteniendo en mente las necesidades específicas in situ y adaptando las soluciones a su propia realidad.

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 primer estudio de caso se basa en el proyecto de diseño de un BioMEMS para detectar tuberculosis, mientras que el segundo estudio de caso describe el diseño de un sistema MEMS para un equipo de refrigeración, el cuál es una petición de la empresa

---

<sup>274</sup> Convencionalmente el proceso de innovación se percibe en el orden de establecer funciones, crear el producto, calcular el costo base y determinar un margen de ganancia. En el caso de la innovación frugal el proceso es un poco a la inversa, en el sentido de que se establecen primero las restricciones (precio, funcionalidad y robustez) y de acuerdo a esto se diseñan los procesos productivos que logren estos objetivos. Un buen ejemplo que ilustra esta idea, es la forma en que fue concebido el Tata Nano, cuyo fundador de la compañía hindú al considerar el peligro del tipo de transporte más común (motocicletas) en la ciudad de Bangalore, en el cual hasta tres miembros de una familia viajaban, decidió crear un auto que fuera accesible al presupuesto de estas familias. Para lo cual fijó un costo máximo de 2200 dólares y adjudicó a un grupo de ingenieros el diseño de este auto con estas restricciones (Megias, 2012).

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 2012. De igual forma, 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 fabricar el biochip de detección de tuberculosis.

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 recabada con el Programa de Becas Ciudad de México-China. Se proporciona información en el primer estudio de caso, más que nada de los avances de esta institución china en el área de BioMEMS y sus vínculos al exterior, para tener un punto comparativo con la contraparte mexicana. En el segundo estudio de caso se describe el proyecto de investigación en torno al carburo de silicio (SiC), patrocinado dentro de un proyecto para sensores de presión MEMS; 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 en la electrónica de consumo y automotriz.

#### **4.2 Primer estudio de caso en México: Biochip para detectar tuberculosis**

El desarrollo de dispositivos MEMS enfocados en aplicaciones biológicas y médicas tales como análisis de ADN, encapsulado de células, ingeniería de tejidos, biosensores, sistemas de análisis químicos (*lab-on-a-chip*), micro sistemas para administración o dosificación de fármacos, dispositivos implantables entre otros, son actualmente alternativas innovadoras para enfermedades que representan un grave problema de salud mundial o nacional.

Algunos de estos dispositivos conocidos como BioMEMS se emplean en medicina de diagnóstico para detectar células, agentes patógenos tales como bacterias o virus, proteínas y otras moléculas de importancia bioquímica. A nivel mundial empresas y centros de I&D destinan numerosos recursos humanos y financieros para el desarrollo de BioMEMS, con el objetivo de reducir costos y mejorar la calidad.

En el marco de este esfuerzo mundial, un grupo interdisciplinario de investigadores del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) de la Universidad Nacional Autónoma de México en Juriquilla, Querétaro, desarrolla un biochip para diagnosticar la tuberculosis utilizando la tecnología de sistemas micro electromecánicos (MEMS). Las ventajas que ofrece este dispositivo cuadrado, ligero y plano de apenas 3 centímetros, son: miniaturizar el sistema; reducir el tiempo en el resultado de la prueba que se estima será de 15 minutos detectando en etapas tempranas la infección; y fácil aplicación a causa de su portabilidad en lugares donde no se dispone de laboratorios de alta bioseguridad y/o personal especializado (López, Contreras, Arenas, Estrada y Castaño; 2011).

La tuberculosis es una enfermedad contagiosa<sup>275</sup> que suele afectar a los pulmones y es causada por una bacteria (*Mycobacterium tuberculosis*) cuyos síntomas se caracterizan por tos constante a veces con esputo, dolor torácico, debilidad y falta de apetito, asociado generalmente con cierto grado de desnutrición o un cuadro de inmunosupresión en las personas afectadas (OMS)<sup>276</sup>. De acuerdo a información de la OMS una de cada tres personas en el mundo mueren por causa de la tuberculosis, es decir, aproximadamente 4800 muertes por día, constituyendo además un desafío de salud pública por su frecuente asociación con el virus de inmunodeficiencia humana (VIH), con la diabetes mellitus y la creciente resistencia de las cepas del *Mycobacterium tuberculosis* a los medicamentos. En la actualidad el diagnóstico más común (que se remonta desde el siglo XIX), es la baciloscopia que consiste en observar al microscopio una muestra del esputo extraída

---

<sup>275</sup> Se transmite de una persona a otra a través de gotículas generadas en el aparato respiratorio de pacientes con enfermedad pulmonar activa. Si no se recibe tratamiento, una persona con tuberculosis activa puede infectar a una media de entre 10 y 15 personas en un año. Sin embargo, los sujetos infectados no desarrollan necesariamente la enfermedad. El sistema inmunitario opone una «muralla» al bacilo tuberculoso, el cual, protegido por una gruesa capa cérica, puede mantenerse latente durante años. En los sujetos infectados cuyo sistema inmunitario se ha debilitado, la probabilidad de la enfermedad es mayor (OMS).

<sup>276</sup> Esta enfermedad por sus características generalmente es padecida por individuos en estado de pobreza.

mediante el frotis bucal del interior de las mejillas de la persona infectada. El inconveniente de este método es su ambigüedad en el diagnóstico, pues entre 3 y 7 de cada 10 enfermos no son detectados, además de que la interpretación de los resultados puede confundirse con afecciones de otro origen, por ejemplo, hepático. Complementariamente se practica también un cultivo de muestra biológica que demora entre 6 u 8 semanas. Actualmente existen otras técnicas para la detección de tuberculosis<sup>277</sup>, entre las cuales se encuentra en fase de prueba un sistema automatizado para la detección molecular de la tuberculosis<sup>278</sup> y el dispositivo GeneXpert MTB/RIF que posibilita la obtención de resultados por esputo en sólo dos horas<sup>279</sup>. No obstante la existencia de estos métodos aún contienen limitaciones en la preparación necesaria de las muestras para no contaminarse y arrojar falsos resultados, o la generación de altos costos en instalaciones y personal especializado. Los requerimientos en los últimos años de la OMS en el desarrollo de pruebas para detectar tuberculosis exige de los tecnólogos un método *point of care*, es decir, sensible, rápido, de bajo costo, sin necesidad de un laboratorio especializado, que este cerca de las comunidades y de los pacientes. Por consiguiente los MEMS son una excelente opción al respecto, ya que prácticamente permitiría un proceso de laboratorio en micro escala (*lab-on-chip*<sup>280</sup>), reduciendo el tiempo y simplificándose el procedimiento en forma similar a una prueba de embarazo.

---

<sup>277</sup> La aplicación de métodos moleculares, cuyo análisis de la muestra clínica se enfoca en un fragmento específico del genoma del agente infeccioso, amplificando el material genético y sometándolo a una electroforesis que requieren de instalaciones de bioseguridad compleja y técnicos de laboratorio calificado (López, Contreras, Arenas, Estrada y Castaño; 2011; OMS).

<sup>278</sup> La Dra. López Marín explica que un kit o sistema automatizado no por sí mismo es eficaz, ya que se tiene experiencia de que estos dispositivos han sido elaborados en países desarrollados (p.e. europeos) pero cuando se prueban en poblaciones de países en desarrollo (p.e. africanos) disminuye mucho la eficacia, ya que estas poblaciones están expuestas a otros patógenos que producen anticuerpos reaccionando positivamente sin estar realmente enfermos de tuberculosis.

<sup>279</sup> Este dispositivo fue desarrollado por la empresa Cepheid (con sede en Sunnyvale California que manufactura y comercializa sistemas integrados, y pruebas para análisis genético en mercados clínicos e industriales) junto con *University of Medicine and Dentistry of New Jersey* y *Foundation for Innovative New Diagnostics*. El costo del dispositivo es de aproximadamente 14, 000 euros y 12 euros cada cartón para la muestra de esputo. Este sistema puede detectar la tuberculosis en la mayoría de las muestras con baciloscopia negativa (el resultado bacteriológico es negativo pero el paciente presenta síntomas de la enfermedad), así como la resistencia al fármaco rifampicina en 90 minutos (OMS).

<sup>280</sup> Los dispositivos *Lab-on-chip* son un subconjunto de MEMS que integran múltiples funciones de un laboratorio en un solo *chip* capaces de manejar pequeños volúmenes de líquido de hasta pico metros. Las ventajas que proveen son: uso menor de muestra de fluidos que repercuten en menos desperdicio, menos consumo de reactivos caros; mayor velocidad de análisis y control del *chip* y mejor eficiencia debida a cortos tiempos de mezcla (distancias cortas de difusión), calentamiento rápido; menos costos de fabricación; plataforma más segura para estudios químico, radiactivos o biológicos debido a la gran integridad de funcionalidad y bajos volúmenes de fluidos almacenado y energías (Lab-on-Chip.gene-quantification.info).

El grupo de científicos del CFATA se enfoca en dos líneas de investigación: 1) en la parte del mecanismo bioquímico, la doctora en esta especialidad Luz María López Marín y la doctora en ingeniería en materiales Ma. Concepción Arenas Arrocena ensayan con un modelo de diagnóstico en el que se utiliza una muestra de sangre del paciente y mediante la polianilina (polímero conductor<sup>281</sup>) se detecta anticuerpos generados en reacción al bacilo de la tuberculosis. Se han probado diversas formas que permiten la inmovilización de reactivos para capturar los anticuerpos de manera que no se degrade a la molécula. Para lo cual, se ha tenido que identificar el antígeno adecuado que captura los anticuerpos y detecta la enfermedad (en tuberculosis hay cientos de ellos, algunos son proteínas o lípidos), eligiéndose un lípido que es altamente específico, muy resistente (no requiere temperaturas bajo cero para conservarse) y fácilmente de obtener en grandes cantidades. La otra línea de investigación, es el desarrollo propiamente del MEMS bajo la responsabilidad del Dr. Castaño Meneses donde colabora el Dr. Horacio Estrada del Centro Nacional de Metrología (CENAM) y recientemente se han integrado, el Dr. Mathieu Hautefeuille especialista en microtecnología del Departamento de Física de la UNAM y muy probablemente un par de investigadores del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Aplicada (CICTA) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez<sup>282</sup>.

El biochip se compone de tres partes que pueden fabricarse por separado y ensamblarse posteriormente:

1) Un sistema de conexiones eléctricas externas con canales microfluídicos<sup>283</sup> para la muestra de sangre.

---

<sup>281</sup> Este material cambia de conductividad y color (cuando la polianilina es conductora se torna verde pero cambia a azul cuando no lo es), propiedades que se aplicarán en la capa inmovilizada de anticuerpos. Eligiéndose por su bajo costo de preparación y por la posibilidad de utilizarse como sustrato semiconductor para el depósito electroquímico.

<sup>282</sup> Esta institución tiene una importante experiencia en el diseño de MEMS al formar parte del proyecto con la empresa líder Schlumberger (proveedora de tecnología y soluciones a clientes de la industria petrolera) y el Instituto Mexicano del Petróleo, para el desarrollo de sensores MEMS de presión, temperatura, viscosidad y densidad que se incorporaran a la zona petrolera de Chicontepec.

<sup>283</sup> Se ocupa del comportamiento, control preciso y manipulación de fluidos que son restringidos geoméricamente a escala sub milimétrica. Es un campo multidisciplinario donde se intercala ingeniería, física, química, microtecnología y biotecnología (Lab-on-Chip.gene-quantification.info).

2) Un sistema de separación de plasma con soporte para el biochip.

3) Y el BioMEMS donde se llevará a cabo el proceso bioquímico. Esta última parte se ha considerado fabricarla en *Sandia National Laboratories*, ya que se dispone de los materiales para la construcción de la parte bioquímica y se garantiza la protección intelectual del dispositivo.

El funcionamiento teóricamente consistiría en introducir una gota de sangre por capilaridad al biochip, transportándose a través de los microcanales del dispositivo MEMS. Siendo necesaria la separación de las células rojas del suero, se recurrirá a una cámara donde fluirá la sangre a cierta velocidad y las células migrarán hacia los lados de la cámara, filtrándose sólo el suero. Este pasará a una cámara de detección funcionando de forma similar a un sistema de espectroscopia de impedancia electroquímica<sup>284</sup>, en el que se encuentra el lípido (antígeno) al cual se le aplica una señal de frecuencia, obteniéndose una gráfica cuya forma indicaría la cantidad de anticuerpos. Otra opción pudiera ser la utilización de micro vigas suspendidas y tan delgadas que el peso de unos pocos átomos las doblaría, de modo que cuando el suero pase, si es que contiene anticuerpos habría un doblamiento de la viga al capturar los mismos y se mediría un cambio de masa, considerándose este método como uno de los más sensibles. Por último, todos los elementos deben ser sincronizados a través de un microcontrolador, es decir, un aparato donde se conecte el biochip y que tras procesar la información proporcione una lectura que indicaría si hay tuberculosis activa o no.

Básicamente el proceso de innovación del biochip implica los siguientes pasos: el desarrollo del sistema bioquímico, la validación<sup>285</sup> del mismo a nivel macroscópico, el

---

<sup>284</sup> Se emplea en el estudio de procesos de corrosión y electrodeposición, en la evaluación de recubrimientos, y en la caracterización de muchos sensores y semiconductores. En los últimos años se ha utilizado en aplicaciones biotecnológicas para la caracterización de células biológicas, el diagnóstico de enfermedades y caracterización del cultivo de células. Basándose en el principio de transducción de esta técnica se ha aplicado en el campo de la microbiología como medio para detectar y cuantificar patógenos (Ramírez, Regueiro, Arias y Contreras; 2009).

<sup>285</sup> La validación son todas las acciones destinadas a probar que un determinado, proceso, sistema, equipamiento o método trabaja de la manera esperada y logra los resultados propuestos. Por ejemplo, todos los reactivos requiere una validación o titulación de sueros (concentración de anticuerpos); el polímero se caracteriza o prueba por algunas técnicas como medición de conductividad a cuatro puntas, espectroscopia infrarroja, etc.; en la parte de la inmovilización se caracteriza o prueba como se modifica la película y se

diseño conceptual del biochip que requiere de un *software* de diseño, el modelado físico y simulación del sistema que requiere otro *software* cuyo fin es verificar todos los parámetros de velocidad, viscosidad, parámetros eléctricos y otros, para finalizar con la fabricación del prototipo. Con el dispositivo ya en forma física se realizarían pruebas clínicas que de resultar exitosas, darían lugar a la fabricación en gran escala.

El grupo de trabajo se encuentra según palabras del Dr. Víctor M. Castaño en la fase final de la prueba conceptual a nivel macroscópico y comenzando la etapa de implementación, es decir, la miniaturización para integrarlo en un biochip lo cual daría lugar al prototipo.

A continuación se destacan dos aspectos que se consideran importantes para dilucidar las condiciones bajo las cuales se encuentran inmersos estos proyectos de innovación, en un contexto de redes globales de innovación y producción, trazando pistas también sobre el futuro que esta tecnología pudiera tener en nuestro país:

#### **Relaciones con otros actores de la cadena de valor de los MEMS:**

- El grupo de investigadores utilizan como plataforma de diseño, el *software* SUMMIT-V desarrollado por *Sandia National Laboratories (SNL)* de Estados Unidos. CFATA pertenece al Programa Nacional para el Diseño y Fabricación de Prototipos MEMS, el cual adquirió la licencia de este *software* a un costo reducido con opción a recibir actualizaciones sin costo. *SNL* dispone de una súper computadora capaz de detectar conflictos estructurales en el diseño con la herramienta *Design Rules Checker* accesible a los usuarios autorizados, que solicitan asesoría técnica de los expertos de esta institución. Se tiene un convenio además, que estipula la fabricación de prototipos a un costo especial y se garantiza la propiedad intelectual o autoría del diseño.

---

realizan inmunoensayos. Toda esta metodología está bien reportada, siendo elevado su costo y requiere de mucha manipulación.

- Se estableció una alianza con algunas empresas canadienses incorporadas a dos redes nacionales: Nano Quebec y Nano Canadá. Una de estas empresas se especializa en nanotecnología, otra empresa en vacunas y la tercera se dedica a la biotecnología, las cuales se encuentran interesadas en el desarrollo del biochip de diagnóstico a escala industrial.
- Se ha establecido un convenio con una empresa francesa que tiene la capacidad de comercializar este dispositivo MEMS en el mercado europeo. La empresa está a la espera de la prueba de propiedad intelectual o patente del biochip de diagnóstico para la tuberculosis.
- Una empresa farmacéutica en México (es la única empresa latinoamericana que tiene permiso de vender medicamentos en Estados Unidos) se encuentra interesada en la comercialización del BioMEMS para detectar tuberculosis. Esta empresa tiene como ventaja la capacidad de tramitar permisos en la COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios) en México y en la FDA (*Food and Drug Administration*) de Estados Unidos. Además cuenta con equipo para realizar los protocolos de validación<sup>286</sup> del dispositivo médico, en este caso del biochip. De igual forma esta empresa tiene como petición la prueba de la patente.

### **Situación actual de la Patente**

Se tiene en proyecto la solicitud de una patente en Estados Unidos por su visibilidad, protección y rapidez, cuyo costo de tramitación correría a cargo de las empresas canadienses. Los derechos de autor corresponderían a la UNAM y el beneficio de la comercialización se otorgaría a las empresas canadienses. El Dr. Víctor M. Castaño estima que una vez que se tenga el prototipo, se podrían negociar un promedio de 1 a 2% de regalías anuales con las empresas interesadas en fabricar y comercializar el biochip. Las regalías a futuro se distribuirían de acuerdo a lo que estipula la legislación universitaria:

---

<sup>286</sup> La validación consiste en que cada dispositivo cumpla con los estándares establecidos de fabricación, que la eficacia del dispositivo sea clínicamente comprobado y que los productos sean seguros en su uso y calidad.

20% para el Patronato Universitario, 40% para la dependencia o centro de investigación (CFATA) y 40% para los inventores. En opinión del Dr. Víctor M. Castaño existe en Estados Unidos un instrumento jurídico de gran ventaja para el innovador, la llamada pre-patente (*Provisionary Patent*<sup>287</sup>) que permite al inventor proteger durante un año el desarrollo de su idea conservando los derechos, tiempo durante el cual bajo esta protección legal se le permite al inventor obtener recursos financieros de inversionistas interesados.

#### **4.3 Segundo estudio de caso en México: MEMS para un sistema de refrigeración**

En el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) el grupo de investigadores integrados por el Dr. Víctor Manuel Castaño, Dra. María Concepción Arenas y Dr. Domingo Rangel Miranda, trabajan en la concepción y diseño de un conjunto de dispositivos MEMS para un sistema de refrigeración, proyecto bastante novedoso ya que al parecer no hay hasta el momento antecedentes de la existencia de un dispositivo similar en el mercado, del cual se tenga conocimiento.

El origen de las técnicas de refrigeración se remontan desde el descubrimiento de materiales con capacidad térmica para no transmitir el calor, por ejemplo, si se pone agua dentro de un recipiente de cerámica se preserva porque este material tiene muy poca conductividad térmica, principio que fue durante muchos siglos el único elemento tecnológico para refrigerar. Posteriormente en el siglo XVIII se descubre que las transiciones termodinámicas generan intercambio de calor, es decir, cuando hay un cambio por ejemplo del estado gaseoso a sólido de la materia, se produce un cambio termodinámico y ese calor se puede utilizar para generarlo o extraerlo, en otras palabras, la transición termodinámica implica calor por lo que el material se enfría y al enfriarse, absorbe el calor de su alrededor. Sobre este principio es como funcionan hoy en día los

---

<sup>287</sup> Desde 1995, la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO, siglas en inglés) ha ofrecido a los inventores la opción de una aplicación provisional de patente. La solicitud de patente provisional resulta especialmente adecuada para las primeras fases de una invención. Cuando está contemplada en la legislación sobre patentes, ese tipo de solicitud constituye una manera rápida, fácil y barata de conservar la patentabilidad de la invención, mientras se realizan ajustes técnicos adicionales y se desarrollan sus posibilidades comerciales y/o se buscan alianzas en la explotación de la invención, reservando la novedad de la patente (USPTO; OMPI).

refrigeradores modernos. Las aplicaciones de la refrigeración son numerosas siendo las más comunes: la conservación de alimentos, acondicionamiento ambiental, enfriamiento de equipos y otros. Hasta la fecha el mejoramiento de los sistemas de refrigeración se ha limitado al área de los materiales o en la eficiencia en cuanto a propiedades termodinámicas (intercambio de calor con el medio para mantener aislado el sistema), perfeccionándose el sistema tradicional. En la actualidad los avances tecnológicos en torno a la refrigeración se impulsan hacia la elevación en los estándares de eficiencia energética, hecho que contrarrestar el calentamiento atmosférico global<sup>288</sup>.

El objetivo del CFATA va dirigido a mejorar la eficiencia térmica contemplando un diseño de MEMS que permita la medición, control, monitoreo de los parámetros en el sistema de refrigeración que se han identificado como los más importantes: temperatura, flujo, humedad relativa, presión y peso del producto. Se pretende que cuando el MEMS esté dentro de la cámara de refrigeración, mida de forma más precisa las variables identificadas y se apliquen algoritmos de control inteligente para hacerlo más eficiente. Esto significa, que al tener una lectura completa del sistema de refrigeración se aplican acciones específicas tomando en cuenta todo el entorno. El MEMS mediría todo tipo información como la concentración del flujo, temperatura o humedad relativa y otros parámetros, que alimentan al sistema inteligente para decidir lo que se tiene que hacer en un momento dado de forma automática, por ejemplo, si no hubiera casi producto se ordenaría bajar los ciclos del compresor. Se cree que el sistema de refrigeración podría adecuarse a las condiciones idóneas de cada producto, dividiéndolo en diferentes compartimientos dentro de una sola cámara, ajustándose a condiciones muy particulares, eficiencia que sin lugar a dudas, aumentará el tiempo de vida del sistema y los productos. Aunado a estas ventajas técnicas en el aumento de la sensibilidad en la medición de las variables mencionadas, el uso de la tecnología MEMS reduciría tanto los espacios para los productos a refrigerar como los costos de producción.

---

<sup>288</sup> La preocupación de la industria de refrigeración por el calentamiento global se ve reflejado en el indicador para medir el impacto ambiental de un sistema de refrigeración considerando tres factores: consumo de energía eléctrica, gas refrigerante y manufactura. Se le conoce como "Desempeño Climático del Ciclo de Vida" (LCCP por sus siglas en inglés), término introducido por Stella Papassava y Stephen Anderson para sustituir el concepto *Total Equivalent Warming Impact* durante el Panel de Valoración de Tecnología y Economía en el Protocolo de Montreal de 1999 (IMBERA-Sostenibilidad).

Este proyecto es una solicitud directa de la empresa IMBERA al CFATA, como iniciativa surgida del temor al cambio tecnológico y la búsqueda de preservar su liderazgo a nivel nacional y de América Latina. IMBERA es una empresa perteneciente a FEMSA<sup>289</sup> dedicada desde 1941 al diseño, desarrollo, fabricación y mantenimiento de equipos de refrigeración comercial. Cuenta con tres plantas productivas en México, Colombia y Brasil que conjuntamente producen anualmente en promedio 400 000 refrigeradores, además de ocho oficinas de ventas, brindando cobertura de mantenimiento a 40 países y empleando a más 4 000 colaboradores. Actualmente es el tercer productor de vitrinas de refrigeración autocontenida a escala internacional detrás de la empresa griega *Frigoglass* y la empresa brasileña *MetalFrio*; a nivel nacional provee el 55% del mercado y en América Latina tiene una participación del 35% del mercado en la refrigeración comercial (como referencia se sabe que el tamaño del mercado total en el mundo es de entre dos y tres millones de unidades al año) (Baltazar, 2011; Pallares, 2012). Para este proyecto, la empresa recibe el apoyo de PROINNOVA (Programa de de Desarrollo e Innovación en Tecnologías Precursoras) adscrito al CONACYT.

El CFATA conforma el grupo creativo del desarrollo de la tecnología MEMS y hasta el momento, se ha realizado la fase de la prueba de concepto (es un experimento en principio muy burdo para probar una idea) en base a un diagnóstico tecnológico de lo que existe en el mercado que ha resultado exitoso, utilizado o adaptando MEMS ya comercializados y probando varios prototipos. Al proyecto se ha incorporado también el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI) de Querétaro perteneciente a los Centros del CONACYT, que junto con el equipo de ingenieros de desarrollo tecnológico de IMBERA, serán los encargados de la implementación física del sistema de refrigeración. Su colaboración es prácticamente reforzar la parte de ingeniería, la cual consistirá en montar y distribuir los MEMS, todos los elementos del sistema, como hacerlo ergonómico y funcional, implicando también la adquisición de materiales, la fabricación de los dispositivos y el ensamble.

---

<sup>289</sup> Empresa líder que participa en la industria de bebidas a través de Coca-Cola FEMSA: en comercio al detalle opera mediante la cadena de tiendas OXXO; en la industria de la cerveza participa como el segundo accionista más importante de Heineken y cuenta con el Área de Insumos Estratégicos formada por diversas empresas (entre ellas IMBERA) que apoyan las necesidades de refrigeración y logística de sus principales negocios (FEMSA, Informe de Sostenibilidad 2010).

IMBERA ha sido una empresa de vanguardia en incorporar tecnologías de eficiencia ambiental, que ahora son estándares en la industria, tales como el Control Inteligente de Funciones<sup>290</sup>, gases refrigerantes naturales, iluminación con LED, condensadores libres de mantenimiento, motores electrónicos, compresores de velocidad variable y componentes plásticos personalizado. En los últimos seis años, el desarrollo, diseño y mejoramiento de equipos de la empresa ha sido financiado en parte por la captación de recursos de los programas de estímulos a la innovación del CONACYT. Pero actualmente el proyecto con el CFATA y CEDESI se encuentra estancado, por la suspensión temporal del financiamiento que se recibe por parte del CONACYT, aún cuando el proyecto ha sido técnicamente aprobado. Por otro lado, el CIDESI cambió a su director después de 9 años, el cual ha impuesto otro modelo de colaboración y muy probablemente retomarán en breve el proyecto.

Como en el caso de estudio anterior se enfatizan los siguientes aspectos que proporcionan una idea, del tipo de relación establecida con otros actores de la cadena global de los MEMS y la probable distribución de los beneficios o ganancias entre los participantes que gestan la innovación.

#### **Relaciones con otros actores de la cadena de valor de los MEMS:**

- Para este proyecto se está buscando una alianza tecnológica con una empresa francesa, que retoma proyectos incompletos (se encuentran a medias o tres cuartos en su desarrollo) con la condición de terminarlos, ya que tienen el conocimiento, el capital y las instalaciones tecnológicas requeridas.

#### **Situación actual de Patente**

---

<sup>290</sup> Este sistema ha permitido prevenir fallas en el equipo, monitorearse por computadora y reduciendo al 20% la visita de los técnicos a los puntos de venta, así como disminuyendo los costos de mantenimiento (Baltazar, 2011).

El derecho de propiedad de la potencial innovación de este dispositivo correspondería a la empresa IMBERA, ya que el programa PROINNOVA de CONACYT así lo estipula, es un programa dirigido a las empresas para fomentar “patentes, productos, procesos o servicios novedosos que los hagan más competitivos y que por las externalidades y efectos multiplicadores que generen en el resto del sector productivo, se incremente la competitividad de otras empresas y se tenga un impacto social” (CONACYT).

#### **4.4 Aspectos a considerar en la introducción de la tecnología MEMS en el caso de México**

En este apartado se hace un ejercicio compilatorio de todas las ideas recabadas a través de las entrevistas realizadas durante el 2011 hasta principios de 2013, integrando las opiniones de los investigadores de los proyectos de MEMS del CFATA presentados como estudios de caso, así como otros investigadores y representantes institucionales interesados en la difusión de la tecnología MEMS: M. C. Guillermina Avendaño, coordinadora del Consorcio Mexicano de Microsistemas de FUMEC; M. I. Roberto Tovar, jefe del Departamento de la Facultad de Ingeniería y del Proyecto UNAMems; Dra. Laura Oropeza, del Centro UNAMems; Dr. Oleksandr Martynyuk del mismo centro; Dr. Mathieu Hautefeuille del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias de la UNAM; Dr. Horacio Estrada coordinador científico del Centro Nacional de Metrología (CENAM) y, coordinador del Programa Nacional para el Diseño y Fabricación de Prototipos MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*); y el Dr. José Mireles del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Aplicada de la Universidad de Ciudad Juárez. Se procurará sistematizar toda la información, opiniones e ideas en una visión general del estado actual de la tecnología MEMS en México.

La idea original de una RED-MEMS en México desde su origen en 2002 fue la construcción de una cadena de MEMS a nivel nacional: realizando la conceptualización y diseño en diversos centros de investigación del país; la caracterización<sup>291</sup> en la Universidad

---

<sup>291</sup> Caracterización significa garantizar que cada sistema micro electromecánico ejecute sus funciones de manera correcta, bajo la simulación de las condiciones ambientales en las que habitualmente trabajaría para su aplicación comercial o industrial.

Nacional Autónoma de México y la Universidad Veracruzana; fabricación de prototipos en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE); encapsulamiento en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez; y por último, las pruebas y validación<sup>292</sup> en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. En principio la disseminación de una red para la especialización de cada segmento de la cadena de valor de los MEMS se presentaba idónea, sin embargo, hasta la fecha no se ha sido funcional por razones técnicas y la dificultad que implica la colaboración a distancia, entre otros factores. Mientras tanto se ha identificado dos posturas en cuanto a la forma de adquirir más conocimiento respecto a esta tecnología:

1) En función de contribuir a la formación de recursos humanos en el diseño de MEMS, se ha implementado desde 2009 el Programa Nacional para el Diseño y Fabricación de Prototipos MEMS, financiado por los fondos FORDECYT-CONACYT. Su objetivo ha sido la difusión y aprendizaje del software SUMMiT-V de *Sandia National Laboratories* (SNL) de Estados Unidos, como una herramienta de diseño de los MEMS en varias universidades y centros de investigación de nuestro país. Este esquema condiciona en cierto modo a fabricar los dispositivos con la institución norteamericana<sup>293</sup>. Los costos de fabricación se reparten entre sus diferentes clientes y cada uno tiene derecho a una isla en la oblea completa que posteriormente se secciona, su costo en promedio sin incluir el servicio de prueba es entre 12 500 a 15 000 dólares por módulo o diseño. Una ventaja relativa es el asesoramiento en el diseño y la prueba del modelo, visualizándose en una simulación tridimensional de cómo sería su funcionamiento en términos eléctricos, térmicos y mecánicos. La desventaja es el cumplimiento estricto de reglas de fabricación (espesores específicos, disposición estructural determinada), restringiéndose la elección a una lista de materiales y procesos determinados, acoplándose el diseño a esos parámetros sin permitir experimentar otras opciones. Otra desventaja es la imposibilidad de presenciar el proceso de fabricación por los diseñadores, una etapa importante que les impide saber la razón de la

---

<sup>292</sup> La validación es el cumplimiento de normas dimensionales (calidad dimensional) y funcionales (eficiencia mecánica y eléctrica) en los dispositivos a nivel nacional e internacional (Consortio Mexicano de Microsistemas).

<sup>293</sup> El Dr. Horacio Estrada destacó que en cada *software* hay restricciones o reglas de diseño, pero que estas se pueden manipular para mandar a fabricarse en un laboratorio comercial, sin necesariamente hacerlo con *Sandia National Laboratories*.

falla del dispositivo. En comparación, los otros *softwares* de diseño de MEMS cuentan con criterios más generales que posibilitan determinar las reglas de fabricación de forma más personalizada.

La utilización del *software* de *SNL* es práctico cuando se desea rápidamente fabricar y comercializar el dispositivo (teniendo en cuenta que es una institución muy avanzada y de mucha experiencia), pero se limita el conocimiento de investigadores y estudiantes, ya que no permite construir el panorama general para contar con elementos suficientes que ayuden a solucionar el problema cuando se cometen equivocaciones en el diseño. Se acelera el proceso pero no se aprende lo suficiente manteniéndose de esa forma la dependencia tecnológica del exterior. Por lo tanto una opción de formar a los estudiantes e investigadores que tendría a futuro más impacto, es el de un marco general de aprendizaje con varias técnicas de fabricación y con la asistencia de *software* de diseño más flexible que se adapte a la medida de las especificaciones deseadas en la fabricación.

2) Otra visión diferente que apuesta por lograr desarrollar procesos y técnicas propias a largo plazo, es la iniciativa de investigadores como la Dra. Laura Oropeza y el Dr. Mathieu Hautefeuille de la UNAM, al impulsar el uso de métodos o técnicas de fabricación no convencionales en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, quienes tienen la oportunidad de irse familiarizando con su manejo, aprendiendo de la interacción de los materiales y realizando microfabricación. La Dra. Laura Oropeza utiliza por ejemplo como herramienta docente, un poliestireno termoplástico (material conocido como *shrinky dinks*<sup>294</sup>) con un método artesanal para hacer moldes microestructurados, que utilizan los alumnos para hacer sus diseños (el diseño se imprime sobre este material y se encoge en el horno convirtiéndose en una estructura micro en relieve, la cual se utiliza como molde en la que se puede verter un polímero flexible que adopta la forma del diseño). En la Facultad de Ciencias con la asesoría del Dr. Mathieu Hautefeuille como una alternativa de lo ya

---

<sup>294</sup> Este material fue utilizado por la ingeniera biomédica Michelle Khine de *University of California, Irvine* para desarrollar un método fácil, rápido y barato de producción de chips de diagnóstico de alta tecnología. Su idea surgió, cuando experimentaba con micro canales para elaborar pruebas de diagnóstico basadas en un *chip*, y al no disponer del equipo cuyo costo sobrepasaba los cien mil dólares (Svoboda, 2009).

existente, se fabricó por ejemplo un laser<sup>295</sup> con un equipo muy barato, muy sencillo y rápido (en una hora se sabe sí va a funcionar el proceso de fabricación y materiales, además de permitir pensar más rápidamente como estructurar el dispositivo). Las ventajas son la réplica de varios equipos que serían accesibles a la mayor cantidad de estudiantes, y las reparaciones se resuelven inmediatamente debido al conocimiento estructural de su fabricación y componentes económicos. Con este tipo de alternativa se puede pensar a mediano plazo en desarrollar métodos propios.

Usualmente el mantenimiento de líneas de microfabricación clásicas son de alto costo, requiriendo de instalaciones especiales o cuartos limpios<sup>296</sup> (ambientes controlados para evitar la contaminación). La fabricación de máscaras<sup>297</sup> con la tecnología MEMS a nivel prototipo por ejemplo, necesita mínimo: una alineadora (se alinea la máscara con el sustrato), un equipo de fotolitografía, uno o dos equipos para hacer ataques (puede ser en seco o en baño químico para atacar p.e ácidos o metales), un equipo de depósitos (p.e. uno muy común es el *sputtering*), una cámara de vacío que con plasma puede depositar casi átomo por átomo películas de metales, desde óxidos hasta polímeros, además de un equipo RIE (*Reactive Ion Etching*) o grabado de iones por reactivos para las paredes verticales. Este conjunto es una inversión aproximada de más de 6 millones de pesos incluida la infraestructura del cuarto limpio, sin contar el mantenimiento del mismo y los trajes especiales. Las técnicas básicamente de fabricación son deposición, grabado (quitar material localmente, precisamente y selectivamente) y caracterización, las cuales requieren de experiencia acumulada, puesto que esto se asimila a una receta de cocina que depende

---

<sup>295</sup> El Dr. Mathieu Hautefeuille del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias de la UNAM explica que un láser para hacer micrograbados usualmente cuesta un millón de dólares, razón por la cual el equipo no se presta a estudiantes, además de que hay que organizar los tiempos de uso. Si se quiere fabricar a escala micro, se necesita mover una plataforma micrométricamente sobre la que se coloca la muestra, empleando una herramienta pequeñísima, la cual se mueve manualmente con mucha imprecisión o se utiliza un sistema automatizado por motores. Para la fabricación del equipo se rescató los motores de impresoras que tienen capacidad de precisión y usando excell para programar la plataforma móvil. Con el láser se hace la ablación, es decir, se enfoca un láser pequeño en un punto del espacio y arranca un poco del material que se ataca haciendo un hoyo a escala micrométrica (similar a un quemador de CD o DVD). Se ha experimentado con varios materiales, grabando surcos, líneas y puntos permitiendo hacer microcircuitos.

<sup>296</sup> Los técnicos que trabajan en estas instalaciones requieren portar guantes, máscaras, gorras y trajes especiales para evitar la contaminación que proviene incluso de nuestro cuerpo (cabello, huellas digitales, piel, perfume, etc.). Según la experiencia del Dr. Horacio Estrada, el costo de mantenimiento de un cuarto limpio en una universidad en Estados Unidos es de 200 mil dólares anuales.

<sup>297</sup> La microestructura se construye capa por capa y cada una de estas recibe un patrón de una máscara específica del diseño.

asimismo de las condiciones ambientales (por ejemplo, la presión influye en el resultado ya que no es lo mismo fabricar en un lugar al nivel del mar con mayor humedad que a una altura de 2500 metros). Un dato relevante sobre el manejo de estas instalaciones de alta tecnología en otros países, es el que casi un técnico especializado este a cargo de una máquina, encargándose de hacer el prototipo para los investigadores y asesorar con su experiencia sobre las posibilidades reales de fabricación en el momento de exponerse una idea o diseño. A lo largo del proceso es importante caracterizar<sup>298</sup> o probar todo el tiempo para entender cómo obtener lo que se busca con su respectivo costo y tiempo, por ejemplo, en un *cantilever* (viga suspendida) donde se ha hecho los cálculos y se sabe que vibrará a tal frecuencia, se espera que cuando se deposite el agente biológico repercuta en un cambio de frecuencia, que puede o no funcionar al conectarse. La fabricación de MEMS implica una trayectoria de aprendizaje a base de prueba y error, en el que se experimenta constantemente para adaptar los diferentes parámetros ambientales, propiedades de los materiales, reacciones químicas, etc.

En el segundo capítulo de esta tesis se indicaba que la fabricación estaba estrechamente ligada al diseño de los MEMS, conformando un proceso iterativo, en el cual los diseñadores hacen simulaciones tanto como les sea posible, procesan, prueban y rediseñan hasta converger empíricamente en el diseño original<sup>299</sup>. Es un trabajo que requiere ingenieros de alta capacidad en interacción constante, utilizando equipo de prueba sofisticado y personalizado. El proceso de innovación de esta tecnología se concibe en plan multidisciplinario, lo cual representa aún en un espacio académico, un gran desafío que en el caso de México se encuentra con las siguientes dificultades:

1) Desde el punto de vista de la Dra. Laura Oropeza del Centro UNAMems, la ciencia básica en el desarrollo tecnológico es todavía un eslabón débil de la ingeniería. Por otro lado, sintonizar la ciencia básica con la ciencia aplicada se dificulta por la escasa conexión

---

<sup>298</sup> En opinión del Dr. Mathieu Hautefeuille, en la UNAM se cuenta con el equipo y especialistas para caracterizar dispositivos micro, pero es difícil acceder al equipo o al grupo que lo hace, por falta de tiempo y difícilmente lo prestan.

<sup>299</sup> Las propiedades mecánicas de las películas delgadas son muy sensibles a las condiciones de deposición química, así las simulaciones de diseños mecánicos no serán exactas, al menos que los materiales trabajados sean caracterizados y monitoreados (Fitzgerald, 2006).

entre especialistas, en parte por la falta de divulgación de proyectos en diversos tópicos y de disciplinas que pudieran encajar conveniente en la tecnología MEMS. La experiencia de la Dra. Laura Oropeza con los BioMEMS muestra las dificultades al respecto:

- Uno de los problemas es migrar los métodos de las disciplinas biológicas, médicas, químicas u otras practicadas desde mucho tiempo atrás a escala micro. Por ejemplo, los cultivos de las células cardiacas se realizan en una caja petri, cristalizador, vaso precipitado o recipiente que no tiene ningún control espacial, pero cuyo funcionamiento es previsible, dificultándose el traslado a una microestructura donde se utilizan otros materiales y se desencadenan fenómenos físicos que cambian a escala micro. Existen protocolos probados hechos para una caja petri donde hay evaporación y se sabe que cada tanto tiene que aplicarse carbógeno (oxigenar medios de cultivo u órganos in vitro). Pero ahora todos esos pasos se deben rehacer en un dispositivo micro, que tiene otras particularidades donde no hay evaporación, las cantidades son nanolitros y no microlitros, la difusión cambia, etc.; circunstancias que obligan a repensar métodos y a experimentar constantemente.
- Otra dificultad es que los ingenieros están acostumbrados a una visión más determinista y aunque en la ciencia no hay verdades absolutas, se utilizan modelos con una cuasi certeza de resultados. En biología puedes realizar un experimento de un tipo y al día siguiente obtener resultados distintos, que no tienen que ver con un hecho errado en el procedimiento del experimento, las variables biológicas son mucho más complejas por lo que es más difícil acoplar esta interfase.

2) Gran parte del tiempo de los investigadores se ocupan en trámites burocráticos y en la búsqueda de financiamiento para sus investigaciones.

3) No hay técnicos para mantener el equipo existente de MEMS funcionando y no se han generado suficientes recursos humanos, descartando la posibilidad de contratar especialistas fuera del país por su alto costo. Existe una discusión dentro de la academia en torno al uso y renovación de equipos de laboratorio, los cuales eventualmente presentan fallas para los

que no se cuenta con recursos humanos suficientes para su mantenimiento. Una de las opciones sería formar especialistas que aprendieran a repararlos, a conocer su funcionamiento y tal vez a fabricarlos.

#### **4.5 Primer estudio de caso en China: BioMEMS**

En este apartado se refleja la experiencia adquirida en el año 2011 derivada de una estancia en Beijing con el proyecto “Biochip para detectar tuberculosis como método alternativo de diagnóstico. Buscando una posible transferencia tecnológica”, auspiciado por el Programa de Becas Ciudad de México-China. Parte de la información es resultado de una serie de entrevistas a investigadores y representantes implicados con la microtecnología: la Dra. Haixia Zhang y Dr. Wei Zhang, ambos investigadores de *MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University*; el subdirector Francois Grey de *Center of Nano and Micro Mechanics, Tsinghua University*; el gerente general Gustavo Carrillo de *Softek Asia* y la asistente de director Chen Ren de *CapitalBio Corporation National Engineering Research Center for Beijing Biochip Technology*. De igual forma fue de valiosa aportación la asistencia a la conferencia CHINANO, *International Conference on Commercialization of Transducer & MEMS* en Suzhou, China, donde se recabaron documentos, conferencias y artículos que ofrecieron una percepción general del estado en su momento de la industria de los MEMS en China.

Las líneas de investigación de la Dra. Xiaomei Yu profesora de “*MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University*” en el área de BioMEMS, incluye sensores micro cantilever para aplicación bioquímica e investigación en la integración monolítica de la tecnología, estudio del plano de alta frecuencia y capacidad del resonador en la técnica de detección; los dispositivos y su sistema de análisis de microfluidos.

Esta institución china otorga gran importancia a la colaboración externa a través de intercambios académicos y cooperación en la investigación.

## **Relaciones con otros actores de la cadena de valor de los BioMEMS:**

- Se colabora con *London Centre for Nanotechnology*, el cual es un *joint venture* entre *University College London* e *Imperial College London*, esta es un empresa multidisciplinaria del Reino Unido que se capitaliza a través de un Fondo de Infraestructura para la Investigación Científica; operando en el primer plano de la ciencia y la tecnología para resolver problemas globales en las áreas de procesamiento de información, medicina, energía y medio ambiente. La Dra. Xiaomei Yu es Co-Presidenta encargada de la organización de la escuela de verano<sup>300</sup> entre Reino Unido y China. En la escuela de verano participa también el *Centre for Nano and Micro Mechanics at Tsinghua University*.

En *MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University* los Microfluidos y BioMEMS son campos importantes en el desarrollo de la tecnología MEMS. Entre los avances de investigación que se han realizado, se encuentra una centrifugación microfluidica en el *chip*, la cual se ha aplicado exitosamente en el enriquecimiento de células sanguíneas y separación de diferentes tamaños de partículas; se ha logrado, la alta calidad de detección bioquímica en un micro cantiliver integrado monolíticamente con sus circuitos CMOS; en los BioMEMS híbridos se ha avanzado parcialmente en la solución al problema de alto costo de manufactura de microfluidos y BioMEMS, experimentándose en un chip de sangre PCR<sup>301</sup>. Además están tratando de desarrollar micro dispositivos bio implantables, así como resolver temas de transferencia de señal inalámbrica y energía.

### **4.6 Segundo estudio de caso en China: MEMS de carburo de silicio**

La Dra. Haixia Zhang, investigadora del “*MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University*” desarrolla un proyecto de investigación en torno al

---

<sup>300</sup> Se realizan una serie de conferencias, laboratorios para desarrollar capacidades en investigaciones de vanguardia, al igual que se abre un espacio donde se interactúa con representantes del sector privado y se explora la dinámica del espíritu emprendedor, analizándose la I&D en el sector industrial y académico.

<sup>301</sup> La proteína C reactiva es una sustancia producida por el hígado, cuya presencia en la sangre indica un síntoma de inflamación aguda.

carburo de silicio (SiC), material que se cree pueda ser un buen sustituto del silicio por sus excelentes propiedades<sup>302</sup>. Su utilidad podría aprovecharse en aplicaciones industriales y del sector automotriz donde se requieren sensores MEMS para desempeñarse en ambientes extremos. Se tiene como finalidad la fabricación de transductores de SiC integrados con circuitos de lectura (*read-out*) utilizando métodos de fabricación por lotes de bajo costo. Este proyecto ha sido financiado por *Lab Foundation Project*, “SiC MEMS pressure sensor”, 2008-2010, PI: Zhang.

*MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University* industrializa su investigación, mediante la empresa *MEMS Co., Ltd.*, que ha aplicado la tecnología MEMS en la producción de sensores de presión para la China continental. Esta institución también colabora con otras empresas nacionales e internacionales para la comercialización de sus dispositivos y tecnologías desarrolladas.

#### **4.7 Aspectos a considerar en la introducción de la tecnología MEMS en el caso de China**

Este apartado presenta un panorama de las condiciones bajo las cuales la tecnología MEMS se desarrolla en *MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University* y se amplía posteriormente a un contexto nacional.

*MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University* ha recibido durante los últimos 5 años más de 150 apoyos significativos de programas nacionales de ciencia y tecnología, tales como el Programa 863, Programa 973, *National Natural Science Foundation of China* (NSFC) y otras fuentes (Gobierno Municipal de Beijing y Ministerio de Educación). El centro facilita investigaciones sobre las tecnologías de microfabricación, dispositivos micromecanizados, diseño de microsistemas y tecnologías florecientes NEMS (*Nano-electromechanical system*). Tres módulos de procesamiento de MEMS se han

---

<sup>302</sup> La diferencia de energía de la banda ancha, alta conductividad térmica, velocidad alta de saturación, hace del carburo de silicio una opción ideal para altas temperaturas, alta potencia, alto voltaje, para dispositivos electrónicos. Su extrema dureza y alta resistencia al desgaste es muy conveniente para la fabricación de sensores y actuadores, así como la existencia de procesos de la tecnología CMOS que pueden ser utilizados para la fabricación de dispositivos en SiC (Jiang y Cheung, 2009).

desarrollado y estandarizado. Asimismo el centro promueve investigaciones fundamentales en metodología del diseño, modelado y simulación de procesos, integración monolítica de MEMS e IC (*integrated circuit*), nanofabricación, y nuevos dispositivos MEMS.

Esta institución se apoya en los servicios del “*National Key Laboratory of Micro/Nano Fabrication Technology*”, el cual tiene sedes localizadas en la Universidad de *Peking* y la Universidad de *Shanghai Jiaotong*. El laboratorio nacional cuenta con equipo especializado de micro/nano fabricación y caracterización, siendo el primer *foundry* científico de MEMS de silicio en China que provee servicios en el ámbito nacional e internacional. Este laboratorio se está encauzando en dos líneas de desarrollo de la tecnología MEMS: uno es conducir procesos desde el diseño de un dispositivo específico y el otro, es desarrollar procesos estándar que puedan fabricar diferentes tipos de dispositivos al mismo tiempo, es decir, plataformas flexibles para diferentes aplicaciones con una misma técnica.

El centro chino de investigación MEMS tiene proyectos de colaboración con numerosas instituciones académicas nacionales e internacionales (*California Politechnic University, Kai Saxy Reserve University, Swiss Federal Institute of Technology, Saarland University, University of Southampton, etc.*), así como diferentes socios industriales (MEMSIC; IntelliSuite, SMIC, USA Delphi, Singapore IMRE, Intel, etc.) dentro y fuera del país.

Cada año desde el año 2010, *Chinese Society of Micro-Nano Technology (CINS), Peking University, China Science&Technology Museum, IEEE Nanotechnology Council, VDE Germany (Association for Electrical, Electronic&Information Technologies)* entre otras instituciones, organizan el Concurso Internacional de Aplicaciones en Nano-micro tecnología (iCAN, siglas en inglés) para promover el espíritu innovador convocando a estudiantes universitarios de todo el mundo y facilitando la colaboración entre academia e industria. Los equipos de estudiantes ganadores elegidos por un comité de expertos tienen la oportunidad de comercializar su idea con algún patrocinador de la industria MEMS.

Este centro se ha esforzado por industrializar su investigación, teniendo como resultado la fundación de la *spin-off First MEMS Co., Ltd*; primera empresa en aplicar la tecnología

MEMS para producir lotes de sensores de presión en la China continental, con una capacidad de producción mensual de 100,000 sensores. Muchos de estos sensores son utilizados en electrodomésticos y en la red de control de la industria de telecomunicaciones. Esta empresa se especializa en el diseño, fabricación y comercialización de micro sensores, con una planta de 70 personas, 40 de los cuales son ingenieros enfocados en la I&D. El centro ha colaborado también con otras empresas nacionales e internacionales para comercializar sus tecnologías y dispositivos.

En el ámbito nacional, el proyecto de MEMS en China tuvo su origen a partir de 1990, adjudicándosele gran importancia dentro del Programa Nacional de Investigación y Desarrollo en Alta Tecnología (Plan 863)<sup>303</sup> e impulsándose fácticamente desde el octavo y noveno plan quinquenal con apoyo del Ministerio de Ciencia y Tecnología, el Ministerio de Educación, la Academia China de Ciencias, Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China y la anterior Comisión de Ciencia, así como de Tecnología e Industria para la Defensa Nacional. En base a un informe en 2007 de la fundación japonesa *Micromachine Center* sobre las tendencias en la investigación de nano y micro tecnologías en China, se sabía de la existencia de 140 grupos conduciendo investigación en relación con MEMS (3000 investigadores en total) y 50 grupos enfocados específicamente en MEMS (1452 investigadores en total)<sup>304</sup>. Después de una década de experiencia se ha acumulado conocimiento en campos tales como micro sensores, micro ejecutores, prototipos de sistemas micro, etc.

Bajo la directriz del Programa Nacional 863 y el Proyecto Clave de MEMS se espera se realicen grandes avances técnicos que hagan frente a los problemas en procesamiento, equipo y sistemas de aplicación de los MEMS. China pretende conformar una plataforma pública para desarrollar la cadena de valor de los MEMS, con la tarea de establecer un puente entre investigación básica e investigación aplicada. Para ello se fundó en 1996 el laboratorio nacional, “*National Key Laboratory of Micro/Nano Fabrication Technology*”,

---

<sup>303</sup> En 1986 se inició el Programa Nacional de Investigación y Desarrollo en Alta Tecnología (Plan 863). Este programa incluye veinte temas de interés, entre ellos, biotecnología, vuelos espaciales, información, rayos láser, automatización, energía, nuevos materiales y el mar (Li, 2007:253).

<sup>304</sup> Esta información se encuentra en la revista trimestral MICRONANO no.59.

el cual funcionó a partir de 1998 como la primera plataforma especializada de fabricación de MEMS, colaborando desde entonces activamente con centros de investigación, universidades y sector industrial de origen nacional e internacional, acumulando gran experiencia en diseño de dispositivos y desarrollo de tecnologías. El objetivo principal de China es una industria de los MEMS sustentable (esto se puede interpretar como la necesidad de lograr independencia tecnológica en un futuro cercano); desarrollar y mantener ingenieros capacitados, así como mantener la calidad del equipo necesario para una producción a gran escala.

De acuerdo a un reporte elaborado por Sun Lining<sup>305</sup> acerca de la estrategia china a desarrollar en los MEMS, estos conforman una industria de alta tecnología que involucra un amplio rango de disciplinas, perfilándose en un futuro cercano como una industria estratégica de profundo impacto en el sector automotriz, electrodoméstico, mecatrónica y área militar. Las industrias de alta tecnología han sido favorecidas por los acuerdos de transferencia tecnológica pactados con la inversión extranjera a cambio del acceso a su mercado. Se ha establecido cooperación en I&D así como *joint venture*<sup>306</sup> con instituciones internacionales y empresas transnacionales en proyectos de dispositivos MEMS, cuya prospección a futuro sea prometedora en el mercado chino.

En la interacción de los diferentes entes sociales (empresas, universidades e institutos de investigación y el Estado) que cimentan la base científica y tecnológica de China, uno de los polos o componentes es fuertemente impulsado por las empresas transnacionales, previéndose relativamente en poco tiempo la construcción de encadenamientos productivos endógenos con una alta probabilidad de integrarse a la cadena global de valor de los

---

<sup>305</sup> Es un investigador que forma parte del grupo de expertos en MEMS del Programa Nacional 863 en China. En 2002 presentó la ponencia “*Review of MEMS Development and the Developing Strategy of MEMS in China*” en *China-E.U Forum of Nanosized Technology*.

<sup>306</sup> Un ejemplo es la empresa *Tronics* fundada en 1994, organización internacional con fábricas de obleas en Francia y los E.U, proporcionando soporte local a clientes en tres continentes, y ofreciendo una de las carteras más amplias de tecnología en la industria MEMS. La empresa construye cadenas de suministro fiables para la entrega de MEMS que van desde las obleas a la integración de componentes personalizados, así como soporte en las fases anteriores requeridas en proyectos a nivel prototipo. Para mejorar el apoyo a las necesidades del mercado chino, *Tronics* decidió fundar la empresa conjunta o *joint venture* CHINATRONICS en 2011 con su anterior distribuidor chino en Beijing y estableciendo su sede en Hong-Kong. En la autorización de esta modalidad, la legislación china dependiendo del suministro de la tecnología específica, obliga en ocasiones la puesta en marcha de un centro de I&D y otras formas de transferencia del *know-how* (*Tronics website*).

MEMS, proveyendo al mercado nacional y eventualmente al internacional. Al respecto, *Hanking Group* (Shenyang), un conglomerado minero ha comenzado a construir en la Zona Económica de *Fushun* lo que podría ser una importante fábrica de obleas para la posterior manufactura de MEMS, estimándose su funcionamiento a partir del 2014. Esta empresa china busca fabricar sensores inerciales (usan la inercia para detectar y medir aceleración, inclinación impactos, vibración y rotación; en general se conocen como acelerómetros y giroscopios), micrófonos de membrana de silicio, sensores de presión los cuales son muy demandados en China, así como MEMS microfluídicos para aplicaciones médicas. China importa casi todos los dispositivos MEMS utilizados en grandes volúmenes como componentes de equipos electrónicos. La empresa podría ser capaz de encontrar compradores de componentes en los fabricantes de sistemas, ofreciendo precios más bajos debido a que no paga derechos de importación y a menores costos laborales. Como meta principal el conglomerado se propone convertirse en una MEMS IDM (*Integrated Device Manufacturer*) que fabrique sus propios componentes, mientras tanto, se planea en una primera etapa funcionar en un 30% de su capacidad ofreciendo servicios de *foundry* y el 70% restante, fabricando dispositivos de marca propia. Para adquirir experiencia se está sondeando la potencial alianza, con socios que les permitan instalar una copia exacta de su línea de equipos y aprender de sus capacidades de fabricación en MEMS. Además se explora la posibilidad con la empresa *MEMS foundry Memscap SA* (Bernin, France) para traer a China el sistema MUMPS (*Multi-User MEMS Processes*), el cual es un conjunto de módulos de procesos estandarizados que permiten compartir el área de la oblea entre varios clientes, similar a la oblea multiproyectos que se ejecuta con la tecnología CMOS (utilizada en los circuitos integrados). En el intento de construir su infraestructura de comercialización y ventas, *Hanking Electronics* está planeando re-etiquetar productos electrónicas en China para el ámbito de las redes de sensores inalámbricos (Clarke, 2012).

#### **4.8 Conclusiones preliminares**

En este capítulo se ha procurado comprender las diversas aristas que inciden en el proceso de innovación de la tecnología MEMS, a partir de estudios de caso en México y China contextualizados en el ámbito de la academia. De acuerdo al proceso interpretativo parte

constitutiva del concepto de innovación de Lester y Piore, las ideas creativas que fluyen dentro de una comunidad multidisciplinaria de investigadores convergen en un esfuerzo por construir un lenguaje comprensivo que trascienda las fronteras del conocimiento. Los criterios de la comunidad académica no están irreductiblemente sujetos a la lógica del mercado, por lo que cuentan con mayor libertad para probar audazmente alternativas menos ortodoxas y abordar tópicos que se consideran relevantes dentro de la sociedad (descubrimiento de una cura, desarrollo de una fuente renovable de energía, abastecimiento de agua, etc.). En los estudios de caso de ambos países se advierte una búsqueda de alternativas de lo ya existente para desarrollar métodos propios, de algún modo siguiendo la directriz hacia el desarrollo de procesos sencillos, baratos y rápidos, así como dispositivos para una aplicación en específico que responda a la demanda de alguna necesidad local (*biochip* para detectar tuberculosis, sensores MEMS para la explotación de pozos petroleros, etc.). Estas características coinciden con algunos aspectos de la innovación tardía de Dieter Ernst (innovación incremental o mejoramiento de procesos y productos) y de la innovación frugal (combinación de tecnologías existentes en nuevas formas).

Mientras la nueva geografía del conocimiento propuesta por Dieter Ernst, enmarca de distinta forma la participación e integración de cada país a la cadena global de valor de los MEMS. Ya que las condiciones “micro, macro, meso y meta” bajo las cuales se despliega la tecnología MEMS en los centros de investigación de los estudios de caso (CFATA y *MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University*), son muy diferentes, adquiriendo rasgos particulares que se describen en las siguientes conclusiones:

En el caso de México:

- 1) El avance actual de la tecnología MEMS se limita al desarrollo de dispositivos para una aplicación en particular sin disponer aún de una plataforma nacional a nivel de prototipo, siendo insuficiente la infraestructura, salvo algún equipo para caracterizar o probar y realizar algunos procesos de fabricación. Algunos proyectos de investigación se han enfocado en el diseño y desarrollo de MEMS en aplicaciones que no tienen precedente (MEMS para detectar enfermedades infecciosas, MEMS como componentes en sistemas de

refrigeración, MEMS como sensor de aplicación en la industria del petróleo, etc.), respondiendo a una demanda en específico de una empresa o incubándose una idea dentro de un grupo multidisciplinario de investigadores. Hay también otros proyectos que se circunscriben sólo al área de la academia, utilizando la plataforma de los MEMS para solucionar un problema en específico que mejore los procesos de experimentación en otras disciplinas (Instituto de Materiales, Facultad de Ciencias y Facultad de Medicina). La colaboración por lo tanto de los centros de investigación, es obligada con empresas e instituciones internacionales (*Sandia National Laboratories*, *Schlumberger*<sup>307</sup>, empresas dentro de las redes nacionales Nano Quebec y Nano Canadá, etc.), que coadyuven a concluir proyectos en etapas de desarrollo del prototipo. A grandes rasgos se puede decir que el proyecto MEMS en México 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 Secretaría de Economía y FUMEC propusieron en 2002, la construcción de una plataforma nacional de producción de MEMS, fragmentando las etapas de la cadena de valor entre diferentes instituciones académicas, de manera que se racionalizaran los recursos para conformar una infraestructura de colaboración nacional, que eventualmente ejecutara todas las etapas (en la actualidad son realizadas casi en su totalidad en el extranjero con elevados costos), sin lograr hasta el momento articularse de manera funcional.

2) Ante la falta de articulación de la RED-MEMS entre los diferentes eslabones o actividades de la cadena de valor (diseño, modelado, caracterización, fabricación y encapsulado), tareas que en principio se dividirían entre diferentes instituciones en México, se ha obligado a los centros de investigación a dirigir sus esfuerzo en completar los segmentos que conforman la cadena de MEMS. Es decir, se atisba una incipiente tendencia a formarse cadenas propias de valor en varias regiones del país, como es el ejemplo del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Aplicada (CICTA) de la UACJ<sup>308</sup>, que

---

<sup>307</sup> Es líder mundial ofreciendo servicios de suministro de tecnologías y soluciones integrales para clientes de la industria petrolera.

<sup>308</sup> Es un centro fundado en el año 2005 para el apoyo en el desarrollo de MEMS, hasta el momento tiene casi todo el equipo para la tecnología de las obleas de silicio sobre aislante SOI (*silicon on insulator*). La gama de opciones para fabricar los MEMS es muy amplia, pero por ahora al menos puede cerrarse el ciclo de algunos

prácticamente ha cerrado el ciclo de fabricación conocido como micromaquinado en bloques (*bulk*)<sup>309</sup> y, cuenta con equipo para hacer procesos especiales de encapsulado y caracterización. Algunos de estos centros de investigación ambicionan convertirse en generadores de ideas y nuevos productos potenciales de introducirse en el mercado, tratando de construir su credibilidad vía patentes para persuadir a los posibles socios de la industria, de la utilidad de esta tecnología en sus procesos productivos.

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

- La difusión del software SUMMiT-V de *Sandia National Laboratories* en centros nacionales para el diseño de MEMS. Esta vía es útil, sí se solicita el asesoramiento técnico de la institución americana para contribuir en la consecución exitosa del prototipo diseñado en centros nacionales, y acelerar la probable comercialización del dispositivo MEMS. Sin embargo, se limita el conocimiento de investigadores y estudiantes por las siguientes razones: a) la disposición del diseño se debe adaptar a reglas de fabricación específicas (se obliga a trabajar con determinados materiales y técnicas), afectando la capacidad de innovar por la restricción o inflexibilidad para hacer cambios (si por ejemplo, se quiere las capas al revés, atacar el material con otro ácido porque cambia las propiedades del mismo, modificar el proceso de fabricación, etc.); b) se priva de la posibilidad de presenciar el proceso de fabricación, bagaje de experiencia fundamental para llevar a cabo exitosamente el diseño de MEMS, que se recordará es un proceso iterativo en el que se procesa, prueba y rediseña hasta converger en el diseño original. Se acelera el proceso pero no se aprende lo suficiente manteniéndose de esa forma la dependencia tecnológica del exterior.
- Otra visión diferente que apuesta por lograr desarrollar procesos y técnicas propias a largo plazo, es la iniciativa de investigadores como la Dra. Laura Oropeza y el Dr. Mathieu Hautefeuille de la UNAM, al impulsar el uso de métodos o técnicas de

---

diseños. En opinión del Dr. José Mireles, de todas las posibles formas de hacer MEMS, este centro es capaz de ejecutar un 15% de esas posibilidades.

<sup>309</sup> Son procesos en los que se graban, esculpen o excavan los sustratos de silicio, vidrio u otros materiales en forma selectiva para formar microestructuras de mayor profundidad. Se aplica en estructuras mayores de 10 micrometros (Oropeza y Hautefeuille, 2010).

fabricación no convencionales en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, quienes tienen la oportunidad de irse familiarizando con su manejo, aprendiendo de la interacción de los materiales y realizando microfabricación. Los procesos no convencionales o litografía suave para generar réplicas a partir de micromoldes, son métodos sencillos y baratos, cuyo costo en la fabricación de un prototipo es menor a la décima parte de un MEMS convencional. La ventaja inmediata es su accesibilidad a los estudiantes de bajo conocimiento para acumular experiencia, contando además con la propiedad de ser más modular (una misma técnica que es flexible para adaptar al tamaño, geometría o formas del dispositivo, según su aplicación). El objetivo es formar estudiantes dotándolos de una idea general de cómo se fabrican los MEMS o microsistemas, teniendo en cuenta que hay reglas de fabricación y de materiales, con la opción de utilizar *software* de diseño que contenga criterios más flexibles para abarcar otros procesos de fabricación.

Ambas estrategias son esfuerzos importantes para la difusión de esta tecnología, pero de igual forma el proyecto de la RED- MEMS debe tomar en cuenta, que no sólo es cuestión de comprar mucho equipo sino de preparar una masa crítica de especialistas, que entiendan los fenómenos físicos y se involucren en una cultura interdisciplinaria.

Las universidades y centros de investigación involucrados en la RED-MEMS, son los encargados de generar los recursos humanos especializados en esta tecnología. La oferta en México de especialistas se reduce a sus centros de excelencia a nivel de posgraduación<sup>310</sup>, sin contar con un sistema educativo integral desde las primeras etapas que garantice la cantidad y calidad necesaria en el futuro (en la UNAM por ejemplo, a nivel licenciatura apenas se ha propuesto como materia optativa). La generación de una masa crítica de especialistas se proyecta a largo plazo, cuya formación desde la formulación de tesis de posgrado hasta el desempeño como investigador activo puede requerir en promedio una década. Los proyectos de innovación con la tecnología MEMS implican una colaboración multidisciplinaria, requiriendo de ambientes con amplia divulgación y fluidez de

---

<sup>310</sup> La estimación de la cantidad de especialistas hasta ahora en México se calcula en menos de una decena de investigadores.

comunicación. El sistema educativo en México se compone de una estructura muy jerarquizada, funcionando bajo esquemas muy autoritarios, inconveniente cultural que podría repercutir negativamente en el llamado proceso interpretativo de la innovación (concepto de Michael Piore y Richard Lester).

4) El desarrollo endógeno de métodos y procesos rápidos, sencillos y baratos entraña múltiples retos y devela las dificultades de aquellos elementos que contribuyen al proceso de aprendizaje e innovación de la tecnología MEMS. Entre ellos, constituye una constante preocupación, las fallas y obsolescencia de los equipos que implican altos costos de mantenimiento, enfrentando el dilema de decidir entre renovar periódicamente los equipos o formar técnicos que aprendan a repararlos o incluso hasta fabricarlos. En la RED-MEMS se necesitan técnicos especializados en los equipos o técnicas de fabricación, que conserven en condiciones óptimas las instalaciones, y asesoren con su experiencia y conocimiento a los diseñadores de MEMS. Una iniciativa interesante al respecto (que hasta el momento es un caso aislado), es la decisión del Dr. Mathieu Hautefeuille de fabricar equipos propios, sencillos y baratos (que es una alternativa de lo que ya existente<sup>311</sup>) con limitaciones en la fabricación a escala de prototipo, pero cuyas ventajas son: conectar más estudiantes para dotarlos de herramientas didácticas que mejoren la asimilación de la tecnología MEMS y la posibilidad de masificar esta herramienta a nivel de enseñanza por la facilidad que representa, fabricar varios equipos y tener la capacidad de repararlos de forma económica.

5) La exploración de oportunidad de desarrollo tecnológico con los MEMS se inclina por las aplicaciones médica y biológica, o BioMEMS que a diferencia de los MEMS tradicionales a base de silicio, son tecnológicamente menos complicados en el sentido de que la investigación es mucho más barata, más accesible, residiendo la dificultad en la interfase con la parte biológica. En el medio internacional, la investigación médica-biológica del país es reconocida y a pesar de los retos que el acoplamiento de los MEMS implica con esta disciplina, a corto plazo podría tener más impacto. Los materiales utilizados en los BioMEMS por lo general son el vidrio y polímeros (que son

---

<sup>311</sup> El Dr. Mathieu Hautefeuille junto con dos estudiantes a nivel licenciatura de física y dos estudiantes de ingeniería, construyó un equipo láser para hacer micro grabados a escala de prototipo, rescatando motores de impresoras que tienen alta precisión y utilizando *excell* para programar.

biocompatibles), cuyo costo es más barato en relación al silicio y más fácil de micromaquinar, utilizando menos equipo o de menor sofisticación dependiendo la aplicación. Una de las ventajas que los BioMEMS brindan a los investigadores, es la posibilidad de hacer experimentos más controlados y con resultados quizás más relevantes. Tal es el caso del proyecto de células cardíacas de la Facultad de Ciencias de la UNAM, en el cual la Dr. Laura Oropeza participa. La investigadora explica que con el método tradicional o uso de cajas petri para sembrar células cardíacas se obtienen cultivos al azar y la electrofisiología (valoración del sistema eléctrico cardíaco) es imprecisa, a menos que se utilicen sistemas robotizados que son muy caros y difíciles de manejar. Por el contrario, el uso de BioMEMS tiene varias ventajas porque se puede imitar ciertas condiciones en vivo pero in vitro, como por ejemplo, hacer micro estructuras que fueren a las células a crecer en dos o tres dimensiones controlándose a través de microfluidica (que se parece más a las arterias o venas) y registrar la actividad eléctrica de las células del corazón. Esta colaboración ayuda a los biólogos a sacar patrones de actividad con respecto a las frecuencias de entrada porque el corazón tiene una dinámica no lineal, y a los ingenieros les proporciona la experiencia de medir procesos complejos para elaborar sensores.

La otra área potencial por donde podría incursionarse con relativo éxito de acuerdo a la opinión del Dr. Mathieu Hautefeuille, son los materiales a utilizar en la microelectrónica. La universidad cuenta con excelentes químicos que realizan caracterización o prueba de muchos materiales con alto potencial de aplicación en la microelectrónica. En el área de química se sintetizan materiales para una aplicación en particular, se prueban, se estudia cómo se comportan y se mantienen en el olvido, mientras que en la electrónica se sueña con utilizar estos materiales. La selección, análisis y procesamiento de materiales es fundamental en el descubrimiento de nuevos procesos de micro fabricación.

A escala industrial los costos de la tecnología MEMS podrían reducirse de acuerdo con la opinión del Dr. Horacio Estrada, sí se tiene la tecnología bien sintonizada, entendiéndose como la optimización tecnológica de los procesos de fabricación, reduciéndose por ejemplo, los pasos a seguir en el proceso de un producto o la utilización de materias primas costeables; otro factor de ahorro son los recursos humano o salarios de los investigadores.

Es importante tener en mente que las tecnologías clave se desarrollan a lo largo de una o dos décadas.

6) El esquema de incentivos y apoyos para desarrollar la tecnología MEMS en México ha sido principalmente gestionada a través de los fondos CONACYT (FORDECYT-Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación; PROINNOVA-Proyectos de Investigación, Desarrollo o Innovación Tecnológica; Fondos Mixtos, AERI-MEMS, INNOVAPYME, etc.), de la Secretaría de Economía o financiamiento del Instituto de Ciencia y Tecnología de la Ciudad de México. Los proyectos en la concepción de dispositivos MEMS es una labor emprendida casi a partir del esfuerzo personal de cada investigador, que tramita la ayuda de los fondos mencionados para adquirir equipo y continuar una determinada investigación. En el caso de proyectos entre centros de investigación y empresas enfocados en esta tecnología, se recurre al apoyo con recursos de programas CONACYT que busca la vinculación entre estas entidades, surgiendo en ocasiones dificultades por la suspensión temporal de recursos o en todo caso la entrega se retrasa con la consecuente repercusión en el proyecto. No hay suficientes estímulos para inducir la formación de *start-ups* u otro esquema de apoyos que inciten la inversión directa del sector privado. Generalmente en el ámbito de alta tecnología, el empresario mexicano opta por comprar cosas baratas para comercializar e implementar servicios en lugar de invertir en innovación, puesto que el costo de desarrollo es muy alto en un mercado local<sup>312</sup>. También hay que tomar en cuenta que la iniciativa privada tiene una perspectiva a muy corto plazo mientras que el proceso de innovación se embarca en plazos de larga duración, que en la tecnología MEMS conlleva un mínimo de cinco años y una gran inversión. Se percibe que los centros de investigación orientados hacia la tecnología aplicada tienen más relación con el sector privado y están conscientes de la necesidad de construirse un prestigio a través de una cartera de patentes en la tecnología

---

<sup>312</sup> El Dr. Oleksandr Martynyuk del Proyecto UNAMems explica que por ejemplo en México, se necesitan estaciones de comunicación punto a punto pero que las empresas en lugar de desarrollar un prototipo para producir 100 estaciones, eligen comprarlas a empresas que producen docenas de miles para todo el mundo. Ante este panorama industrial casi nadie se involucra en un proyecto de desarrollo porque están conscientes de sus altos costo, con baja probabilidad de éxito debido a la falta de experiencia o/y por falta de personal especializado.

MEMS, con la posibilidad de ofrecer soluciones a empresas que inviertan potencialmente a futuro<sup>313</sup>.

7) En la práctica muchos investigadores de la universidad no conceden mucha importancia a patentar, argumentando que debe compartirse el conocimiento o que en su obligación a publicar sus avances en la literatura científica, su trabajo está sujeto a la posible reproducción por una empresa que finalmente disponga de toda la estructura compleja necesaria para comercializar la innovación<sup>314</sup>, además de disponer de un grupo de abogados que en un tentativo juicio por la defensa de la autoría de la patente tendrían una alta probabilidad de ganar. Pero por otra parte, la mayoría de los investigadores desconocen la normatividad o requisitos para patentar, siendo la falta de tiempo un factor fundamental, considerándose positivo la propuesta de un agente que registre y gestione la patente a nombre del grupo de investigadores. Esto también presenta una cierta dificultad ya que lo recomendable es que se patente a nivel internacional (o por lo menos una patente tríada que contemple E. U, Europa y Japón) para blindarse<sup>315</sup> contra la piratería, elevando de ese modo los costos considerablemente. Según la opinión del Dr. Víctor M. Castaño del CFATA, una de las formas para motivar a los investigadores a innovar en México sería el cambio a un esquema de beneficios mejor regulado. Actualmente la Ley Federal del Trabajo decreta que el desarrollo científico realizado por un investigador asalariado sea propiedad del empleador, obligando sólo el otorgamiento de un reconocimiento por el trabajo de investigación, pero sin definir si consiste en un reconocimiento simplemente nominal o un incentivo económico. Desde el punto de vista del Dr. Víctor M. Castaño más que generar un aparato burocrático como una secretaría o incrementar la inversión en ciencia y tecnología, es necesario más bien estructurar una ley que realmente incentive la innovación.

---

<sup>313</sup> Uno de los investigadores mencionaba que la desconfianza hacia la tecnología MEMS por parte de los empresarios era la incomprensión de las propuestas, proponiendo la conveniencia de aterrizar la potencialidad de esta tecnología utilizando un lenguaje acorde a su interés, es decir, hablar en términos del ahorro en costos, porcentajes de ganancias, etc.

<sup>314</sup> La Dra. Luz María López al respecto comentó que para evitar estas situaciones en la academia de Estados Unidos se está otorgando un período de cinco años o prórroga para no publicar, permitiendo a los investigadores el desarrollo de una investigación importante.

<sup>315</sup> Agencias extranjeras sondean las publicaciones y patentes de países en desarrollo haciendo una pequeña modificación y registrando la patente para su beneficio.

8) En relación al empleo de trabajo altamente especializado por parte de empresas transnacionales, está surgiendo un fenómeno que se le ha dado en llamar “la nueva maquiladora mexicana”<sup>316</sup>, refiriéndose al contrato de mano de obra muy buena y con alto conocimiento pero menos pagada comparativamente que en los países líderes. La perspectiva 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 grado de experiencia que remarcara su competencia en el plano global de la geografía del conocimiento, es el entramparse en una dinámica con las empresas transnacionales que derive en la llamada “nueva maquiladora mexicana”.

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

1) La estrategia de China está firmemente encaminada 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 promover la protección de patentes para incentivar la aplicación de la investigación básica. Dentro de la planeación paulatina de su estrategia, se incluye el desarrollo de dispositivos y sistemas de integración de MEMS a pequeña escala, multi-variados y de alta calidad, con la idea de construir la base para una futura industrialización centrándose en dispositivos médicos, consumo de electricidad, electrodomésticos y otras aplicaciones. La importancia de los MEMS en China se planteó desde el Programa Nacional 863, iniciando la investigación en los años 90s y adquiriendo impulso durante el octavo (1991-1995) y noveno (1996-2000) plan quinquenal. En 1996 se fundó el laboratorio nacional, “*National Key Laboratory of Micro/Nano Fabrication Technology*”, el cual funcionó a partir de 1998 como la primera plataforma especializada de fabricación de MEMS, colaborando desde entonces activamente con centros de investigación, universidades y sector industrial de

---

<sup>316</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.

origen nacional e internacional, acumulando gran experiencia en diseño de dispositivos y desarrollo de tecnologías. El objetivo principal de China es una industria de MEMS sustentable (esto se puede interpretar como la necesidad de lograr independencia tecnológica en un futuro cercano); desarrollar y mantener ingenieros capacitados, así como sostener la calidad del equipo necesario para una producción de gran escala. En tales circunstancias podría presentarse un cambio cualitativo interesante, al pasar de ser un seguidor e imitador a un innovador potencial, y de realizar únicamente investigación en el ámbito académico a comercializar sus resultados de investigación.

2) China ejerce una política dinámica favorable a la adquisición de capacidades para innovar en micro y nanotecnologías (entre ellas la tecnología MEMS) disponiendo para ello de un extenso esquema de incentivos y apoyos. Los centros de investigación reciben enormes subsidios gubernamentales y, otorgan ayuda para el desarrollo de ciencia y tecnología gratificando a los investigadores potenciales con subsidios a la vivienda, subsidios a los salarios, etc. Además se promueve la generación de empresas nacionales de alta tecnología concediendo incentivos que van desde la reducción de impuestos de 25% a 15%, reembolso del impuesto al ingreso de las sociedades, subvención a la apertura de empresas etc. Estos dos ámbitos, el académico y el empresarial se vinculan de forma obligada o en algunas situaciones, de la institución académica se desprende una *spin-off*, como el caso de *First MEMS Co., Ltd.* En China el modelo en práctica esencialmente se basa en la participación pública nacional e internacional para promover la I&D e innovación endógena a fin de comercializar estas capacidades, adoptando 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) Los acuerdos de transferencia tecnológica pactados con la inversión extranjera directa a cambio del acceso a su mercado, ha sido fundamental para catapultar el proceso de aprendizaje en China, esperando de ese modo disminuir de forma acelerada el sesgo tecnológico con respecto a los países líderes (Estados Unidos, Japón y Europa). Se ha establecido cooperación en I&D así como *joint venture* con instituciones internacionales y empresas transnacionales en proyectos de dispositivos MEMS, cuya prospección a futuro sea

prometedora en el mercado chino. Se observa que en la interacción de los diferentes entes sociales (empresas, universidades e institutos de investigación y el Estado) que cimentan la base científica y tecnológica de China, uno de los polos o componentes es fuertemente impulsado por las empresas transnacionales, previéndose relativamente en poco tiempo construirse encadenamientos productivos endógenos con una alta probabilidad de integrarse a la cadena global de valor de los MEMS, proveyendo al mercado nacional y eventualmente al internacional.

4) China cuenta con un contingente enorme de ingenieros y científicos<sup>317</sup>, pero se percibe<sup>318</sup> de inmediato una notable diferencia de actitud entre los investigadores provenientes 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, oportunidad de ampliar el mercado). Cada vez más en China se está intensificando el envío de ingenieros a formarse al exterior y estimulan la mentalidad de convertirse en emprendedores fundadores de su propia empresa, además de fomentar la repatriación de científicos, doctores, ingenieros e investigadores<sup>319</sup>, que han asimilado la cultura empresarial americana y saben cómo competir e innovar.

5) La analista Wenbin Ding de la consultoría francesa *Yole Développement*, opina que la industria de los MEMS en China se encuentra en una etapa temprana y considera que las

---

<sup>317</sup> Este es un tema polémico, ya que según un estudio sobre el sesgo de ingenieros graduados en Estados Unidos, China e India, se descubrieron varias inconsistencias en la contabilidad realizada por el Ministerio de Educación Chino, así como la misma indefinición china del término ingeniero que igual podía considerar un mecánico o técnico como ingeniero. Se incluyeron en la contabilización todos los grados relacionados desde tecnologías de la información hasta campos especializados en la construcción naval. Estos datos son parte del reporte “*Framing the Engineering Outsourcing Debate: Placing the United States on a Level Playing Field with China and India*”, estudio realizado bajo la guía de Gary Gereffi y Vivek Wadhwa, por estudiantes de la Maestría de Administración de Ingeniería de la Universidad de Duke.

<sup>318</sup> Esta es una apreciación tal vez muy subjetiva que se infirió después de asistir en 2011 a la conferencia CHINANO en Suzhou, China.

<sup>319</sup> En el reporte de 2011 sobre la fuga de cerebros a la inversa, “*The Grass is Indeed Greener in India and China for Returnee Entrepreneurs*” que Vivek Wadhwa y Geri Gereffi elaboraron junto a un equipo de *Duke-UC Berkeley* y *Harvard*, se documenta que los inmigrantes que conforman el 12% de la población de E.U., fueron los que iniciaron el 52% de las compañías tecnológicas en el *Silicon Valley* y contribuyeron con más del 25% de las patentes globales. Ellos componen el 24% de la fuerza laboral de ingeniería y ciencia en E.U.

tecnologías no son lo suficientemente maduras para las casas de diseño. El soporte por parte del gobierno ha fortalecido proyectos de investigación y desarrollo de productos (los dispositivos de mayor complejidad todavía son escasos) en centros de investigación, universidades y empresas de la industria, pero aún tomara algún tiempo a los emprendedores chinos obtener experiencia en el diseño de productos MEMS y ganar su acceso al mercado. Aunque la tecnología de los MEMS está lista, la parte de los procesos y *software* esta poco desarrollada, habiendo aún así campos interesantes como el caso del servicio de *foundry*, en el que compañías con experiencia en la industria de circuitos integrados como SMIC (*Semiconductor Manufacturing International Corporation*), ASMC (*Advanced Semiconductor Manufacturing Corporation*), CSMC *Technologies Corporation*, GSMC (*Grace Semiconductor Manufacturing Corporation*), *HuaHong NEC*, y *Belling*, están expandiendo activamente sus negocios con empresas locales de MEMS. Los servicios de *foundry* representan hasta el momento según una estimación de *Yole Développement*, sólo el 10% del valor total de la industria china de MEMS y cada vez más se suman otros competidores, tales como el *cluster Nanopolis* establecido en el parque industrial de Suzhou con experiencia en I&D de MEMS o *Hanking Electronics* con toda una estrategia detrás para convertirse en un MEMS IDM (*Integrated Device Manufacturer*). Los diversos dispositivos tienen un grado diferenciado de avance en China:

- En algunos sectores que implica tecnología relativamente simple o madura, se ha logrado cierta comercialización, como los sensores de presión que se han desarrollado bastante bien en China; o *Senodia Technologies* destacándose como la primera compañía de giroscopios al anunciar el inicio de la producción en masa con la colaboración de *TSMC*, cuyo mercado tiene como meta satisfacer la demanda de electrónica de consumo, juegos y teléfonos celulares; o *MiraMEMS Sensing Technology Co. Ltd*, que inició la producción de acelerómetros de 3 ejes para aplicaciones en el sector de consumo.
- En términos de tecnología más sofisticada como los micrófonos, sólo pocas empresas han hecho progresos como *AAC Technologies* que provee a Apple de dispositivos para los iPhone 4, 4s y el nuevo iPad, esperando ganar más participación en el mercado de micrófonos.

- En general las empresas locales aún están trabajando hacia la producción en masa de acelerómetros y giroscopios para el mercado de electrónica de consumo; pocas empresas pueden proveer acelerómetros y giroscopios para el mercado aeroespacial (se han utilizado algunos micro-sensores en la nave espacial Shenzhou), de defensa nacional o exploración de petróleo; y en el mercado médico pocos dispositivos han sido comercializados y operando a una pequeña escala (*biochips*, analizadores micro-bioquímicos o cápsulas endoscópicas). Al mismo tiempo, otros aspirantes están creciendo muy rápidamente: *Goertek*, *Gettop* y *NeoMEMS*, empresas que trabajan en sus propias tecnologías y tratan de hacer todo el paquete.

Se espera la incorporación en un futuro cercano de más empresas chinas en los distintos segmentos de la cadena de valor de los MEMS: *foundries*, casas de diseño, empresas de ensamble, etc. Dicha perspectiva tan optimista obedece a la enorme demanda en el mercado de uso final, ya que muchos fabricantes de sistemas grandes están realizando su ensamble y empaque en China, convirtiéndose en una gran ventaja la producción de MEMS en áreas locales que cumplan los requerimientos y necesidades de estas compañías. Los componentes MEMS fabricados localmente serían más baratos comparativamente, a causa del ahorro por concepto de derechos de importación y bajos costos de manufactura, cuyo personal científico y de ingeniería se cotiza en una sexta o décima parte en contraste a sus homólogos de Europa, Estados Unidos y Canadá.

6) 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. Paradójicamente surgen dudas respecto a si todas estas condiciones para promover la innovación son suficiente para crear industrias exitosas. De acuerdo a Vivek Wadhwa<sup>320</sup> hay varias razones para pensar lo contrario:

---

<sup>320</sup>Vivek Wadhwa es vicepresidente de “*Academics and Innovation at Singularity University*” y miembro de la Facultad de Derecho de Stanford y Director de Investigación de *Pratt School of Engineering at Duke University*.

- La débil reputación que los chinos tienen respecto a los derechos de propiedad intelectual induce a limitar la transferencia tecnológica por parte de las transnacionales. En relación al reforzamiento en la protección de la propiedad intelectual, últimamente China en su intento de “construir una economía que radique en la innovación más que en la imitación” ha incrementado las solicitudes de patentes chinas, para lo cual el gobierno está ofreciendo bonos en efectivo, mejores viviendas y ventajas fiscales a los innovadores. Sin embargo, las patentes caen bajo la sospecha de que sean plagiadas o irrelevantes concedidas en circunstancias irregulares, infiriéndose que el incremento de patentes no equivale a ser un país más innovador o que beneficiarán a la economía global. Se teme que la intención detrás de esta acción, sea exigir los derechos de licencia a las empresas extranjeras que operan localmente o se conviertan en subterfugios para obligar a cerrarlas completamente. La contraparte de esta expansión en las patentes indica por otro lado, una forma de evitar el incremento de costos por cuenta de la concesión de licencias y regalías<sup>321</sup>; obligando a los extranjeros a la licencia local e instituyéndose como mecanismo para mejorar los términos en los acuerdos de licencias cruzadas.
- Se ha extendido la percepción de que las empresas chinas en semiconductores, muchas de las cuales están migrando hacia la fabricación de MEMS diseñan con requerimientos comunes, pero no disponen de la competencia para producir avances significativos, lo que supone un desafío mayor al desarrollar procesos y productos propios con la tecnología MEMS. Aún con los programas de calidad de formación de los investigadores no se cuenta con la consistente experiencia histórica de investigación y negocios de los países líderes, conllevando a la reflexión de que pese a la cantidad de recursos disponibles para la creación de parques tecnológicos chinos, no es suficiente para replicar espontáneamente fuentes de creatividad e innovación.

---

<sup>321</sup> En China por ejemplo, el pago a las empresas extranjeras se estimaba en 2010, en más de 10 mil millones de dólares, incrementándose 20% cada año (*The Economist*, Septiembre 30 de 2010. *Innovation in Asia, Trading Place. China is about to overtake Japan in patent applications*).

- Otro factor de desventaja, ha sido la competencia de los gobiernos locales por la infraestructura, conduciendo en ocasiones a una sobreinversión<sup>322</sup> en industrias de alta tecnología.

Con todo, existen aspectos interesantes a destacar de la estrategia china, la cual establece dentro de su política económica la meta de satisfacer el mercado interno y se concentra en innovaciones adaptadas *ad hoc*, muchas veces patrocinadas dentro de esquemas de normatividad gubernamental<sup>323</sup>. China importa millones de dólares en MEMS y los mercados de consumo, automotriz y teléfonos celulares están constantemente en expansión. Su estrategia 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 (sector automotriz, teléfonos celulares, y otros), confiando en ofrecer precios más bajos debido a la ausencia de derechos de importación y menores costos laborales. Las innovaciones que se pretende desarrollar coinciden con algunos aspectos de la innovación frugal, tal como se plantea en el programa “*Drive for Indigenous Innovation*” que hace particular énfasis en la innovación integrada o combinación de tecnologías existentes en nuevas formas y la re-innovación que implica la adopción y mejoramiento de tecnologías importadas (Jarrett y Wendholt, 2010).

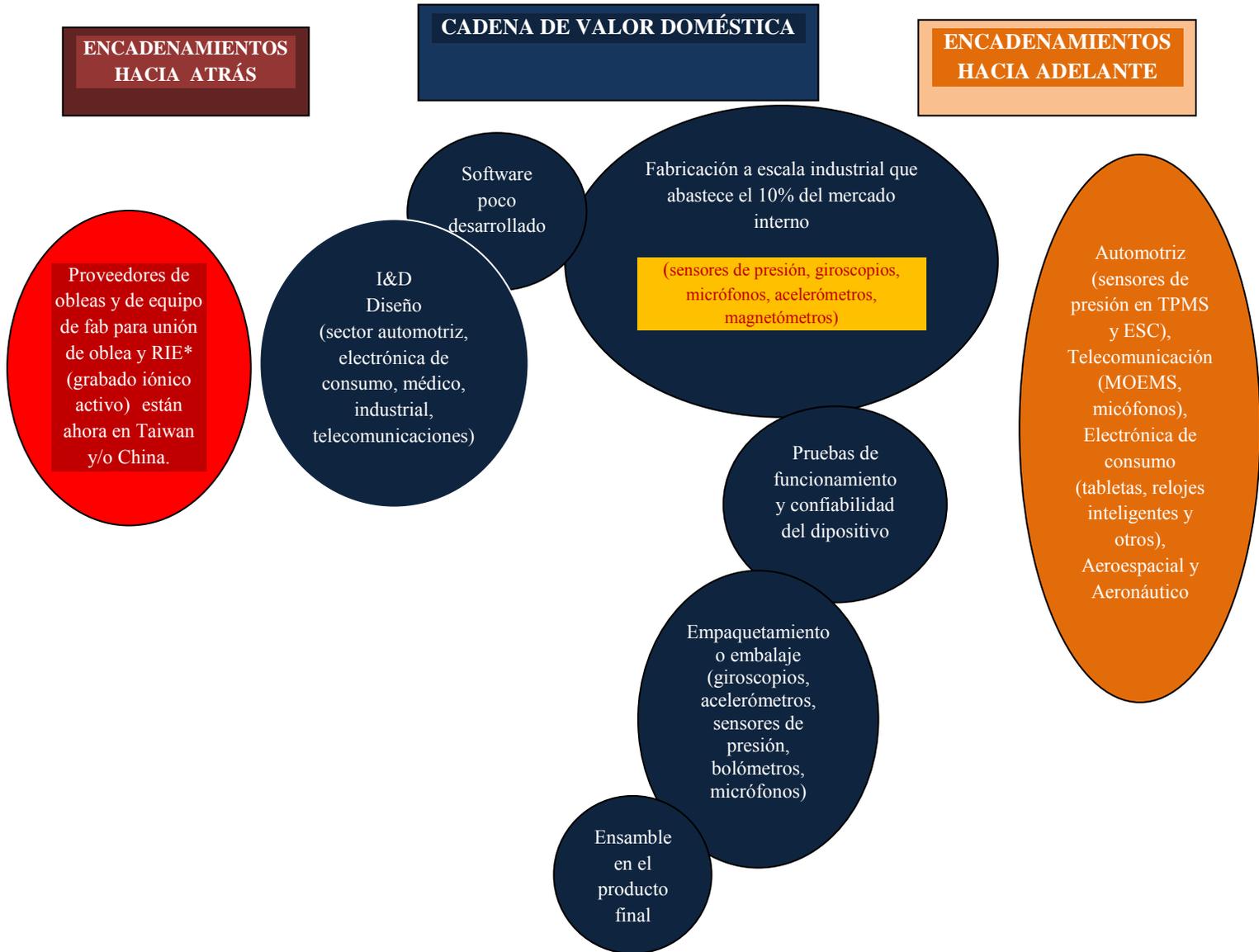
En resumen se presentan dos esquemas de la Cadena de Valor de los MEMS y sus respectivos encadenamientos hacia adelante y hacia atrás de acuerdo a la información recabada sobre China y México:

---

<sup>322</sup> Por ejemplo, se contrató a la empresa *Semiconductor Manufacturing International Corporation* (SMIC) para construir y dirigir una planta de chips, excediéndose la capacidad de China en este sector y manteniendo ociosas líneas de producción que podrían haberse utilizado en esfuerzos más productivos (Wadhwa, 2009).

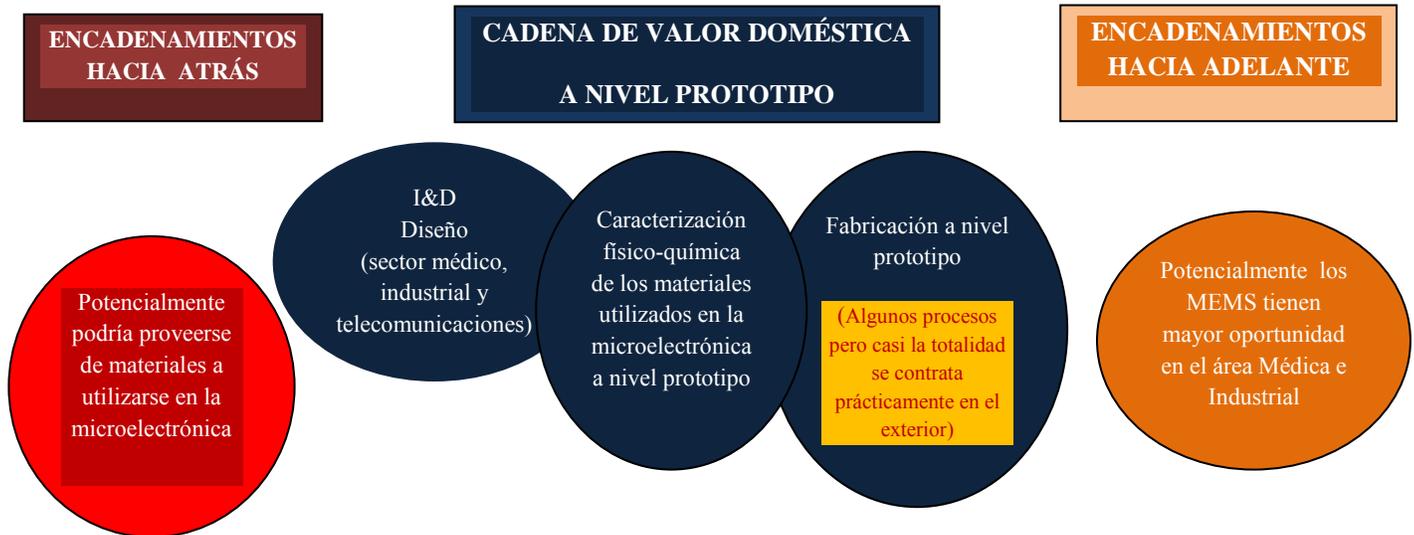
<sup>323</sup> Por ejemplo, China es el tercer gran consumidor de MEMS en el sector automotriz (atrás de E.U. y Europa), su rápido crecimiento se debe a que este país está tratando de ponerse al día en aplicaciones de seguridad y control de emisiones para los autos. En el segmento de los sistemas de 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/c).

# CHINA



\*Es una tecnología de sensores consistiendo en un proceso de grabado que permite dar estructuras a capa sensibles y/o porosas.

## MÉXICO



China de un momento a otro podría emerger como jugador global, aún cuando la industria está en una etapa naciente a marcha forzada para implementar una cadena de valor interna, con carencias todavía en sus capacidades avanzadas de I&D y en operaciones de producción en masa, además de la necesidad inmediata de una red más robusta de canales de distribución. A partir del año 2008, el crecimiento de la industria MEMS en China se ha acelerado germinando más de 100 empresas locales establecidas su mayoría en las regiones de Wuxi, Shanghai y Suzhou. Mientras que en México existen algunos centros académicos afiliados a la RED-MEMS donde se realiza I&D, diseño y caracterización a nivel experimental. Tres empresas mexicanas (registradas en el Consorcio Mexicano de Microsistemas afiliado a FUMEC), están clasificadas como casas diseño de MEMS o empresas que generan productos/procesos que integran MEMS. Las áreas potenciales de encadenamiento en México hacia adelante son: sector médico (biochips), sector de electrodomésticos (sensores para la refrigeración) y sector industrial (dispositivos para sensar el desgaste de la maquinaria); pero en tanto que no exista una infraestructura funcional por lo menos a nivel prototipo y la investigación en centro académicos no cuente con mecanismos para que se vinculen activamente al sector productivo, no habrá

oportunidad de potenciar innovaciones de la tecnología MEMS en los sectores mencionados u otros. Algunas acciones a emprender a partir del status actual de la tecnología MEMS se desarrollan con mayor amplitud en el apartado siguiente: “Lineamiento para una política pública que impulse el desarrollo de la tecnología MEMS”.

Por otro lado, los encadenamientos productivos entre China y México están todavía muy lejos de ser posibles, sin embargo un punto de enlace para la cooperación en una primera etapa es muy factible por lo menos a nivel de intercambio académico, como antecedente se menciona que como parte del proyecto “Biochip para Detectar Tuberculosis como Método Alternativo de Diagnóstico. Buscando una posible Transferencia Tecnológica” en 2011, del Programa de Becas de la Ciudad de México se logró un pre-acuerdo para una cooperación mutua entre el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) y algunos centros de micro/nano tecnologías de China, “*Center for Nano and Micro Mechanics, Tsinghua University* y *MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University*”, en el que se proponía el intercambio de estudiantes de posgrado.

#### **4.9 Lineamientos para una política pública que impulse el desarrollo de la tecnología MEMS en México**

El futuro del proyecto MEMS en México es muy incierto y una tarea ardua que no se limita sólo al incremento de variables tales como el presupuesto para I&D, inversión privada, equipo, o en otras palabras una inyección de más recursos, ya que ésto es evidente, pero además se necesita realmente una planificación integral de largo plazo, en etapas congruentes y bien definidas<sup>324</sup>. Es decir, que todos los elementos necesarios (personal capacitado en microtecnología, técnicos calificados en el manejo de las máquinas, equipo e instalaciones) se coordinen en tiempo y espacio. Sería muy conveniente que la persona a cargo del proyecto de MEMS en cada institución que conforma la RED-MEMS, sea una persona experimentada en esta tecnología y que determinará junto a sus colegas: líneas bien

---

<sup>324</sup> Hay ejemplos de personal muy capaz pero que no cuenta con el laboratorio o todo lo contrario, un laboratorio equipado y disponible pero falta de personal calificado. Ha habido casos en los centros de investigación, que por varias razones (las instalaciones no están listas, no hay técnicos disponibles, etc.) se han desempacado sus equipos mucho tiempo después, encontrándose con que éste no funciona óptimamente.

definidas de investigación; las áreas de la ciencia con un grado de avance notable en su región e identificar quienes integrarán los grupos interdisciplinarios; además de realizar un inventario del equipo para definir concretamente sus necesidades al respecto, así como reclutar a los expertos o personal calificado necesario ya sea nacional o extranjero.

Las siguientes propuestas se enuncian a partir de las inquietudes, opiniones y perspectivas a raíz de experiencias personales, de todos aquellos investigadores que amablemente accedieron a darme una o más entrevistas.

En principio se necesita un flujo constante de financiamiento para mantener en marcha la RED-MEMS, para lo cual se propone constituir una partida especial del presupuesto federal proveniente de negocios en relación a los juegos de azar, como Lotería Nacional, Pronósticos Deportivos y Casinos<sup>325</sup>. La recaudación de recursos por esta vía podría ser gestionada a través de una comisión especial de expertos, como el grupo conformado en el “Programa Nacional para el Diseño y Fabricación de Prototipos MEMS”.

Se necesita de las dos estrategias de divulgación identificadas en paralelo de la tecnología MEMS en la academia:

- El aprendizaje del *software* de diseño SUMMiT-V de *Sandia National Laboratories*, con la posibilidad de fabricar prototipos diseñados (en los centros de I&D mexicanos) a precio especial en las instalaciones de *SNL*, es una opción útil cuando el prototipo es apto para comercializarse. Este *software* ayuda a capacitar estudiantes e investigadores para entender, usar y apasionarse por esta tecnología MEMS.
- Y la propuesta de algunos investigadores de la UNAM de desarrollar procesos y técnicas propias a largo plazo, con la filosofía de ser rápidos, sencillos y baratos, impulsando el uso de métodos o técnicas de fabricación no convencionales. Esta vía

---

<sup>325</sup>El Dr. José Mireles comentó, que este tipo de esquema ha sido muy exitoso en Australia, donde a principios del 2000 se destinó parte de los ingresos provenientes del negocio de casinos para la creación de centros de I&D. En el complejo de I&D se distribuía un ala para el departamento de ingeniería (mecánica, eléctrica y química) y otra ala de médicos y biomédicos para mantener una interacción entre los diferentes especialistas.

permite que a nivel académico cada estudiante e investigador realice todo el proceso desde la idea hasta el prototipo final, adquiriendo una visión global.

Los fondos de la partida especial gubernamental para impulsar esta tecnología por lo menos durante una década o más, podrían destinarse para lo siguiente:

1. Sería conveniente que los centros de excelencia de I&D que conforman la RED-MEMS dispersos en la república mexicana, se convirtieran en focos de innovación dotados de toda la infraestructura básica necesaria para por lo menos cerrar el ciclo de “diseño-modelado-fabricación-caracterización<sup>326</sup>”, a nivel prototipo<sup>327</sup>. La gama de opciones para fabricar MEMS es inmensa y el equipo a utilizar depende de la aplicación, así que cada centro decidiría según su especialización (en el ramo automotriz, médico, aeronáutico, etc.) y las necesidades regionales. La idea es que cada vez se integren más cuerpos académicos que contribuyan al desarrollo de las microtecnologías<sup>328</sup>, seleccionados por la calidad de sus investigaciones y sus relaciones internacionales. Igualmente en la infraestructura de estos centros es importante contar con espacios que permitan tener colaboración externa con investigadores de diferentes disciplinas de forma directa y constante, retroalimentándose para sortear más rápidamente los retos que implican los proyectos. Podría pensarse también en una especie de corredor de especialistas que tuvieran movilidad para realizar estancias académicas temporales en los lugares donde se les requiere para proyectos conjuntos.

2. La elección de equipo e instrumentos para los laboratorios depende de cada centro, pero se ha observado que en ocasiones el equipo no ha sido el adecuado por desconocimiento o limitación de recursos. Se propone que la comisión de especialistas de MEMS asesore con su experiencia sobre el equipo básico pensado para las necesidades de cada institución.

---

<sup>326</sup> El ciclo completo consta de las etapas “diseño-modelado-fabricación-caracterización-encapsulamiento”.

<sup>327</sup> Aproximadamente el costo de un cuarto limpio de fabricación básico es de seis millones de pesos, sin incorporar el costo de mantenimiento, trajes y otros materiales.

<sup>328</sup> El Dr. Mathieu Hautefeuille comenta que el término de MEMS ya no es tan correcto para describir la tecnología, puesto que hay una constante búsqueda de nuevos materiales y nuevas técnicas, aparte de las técnicas convencionales basadas en silicio, de manera que un término más conveniente sería tal vez ciencia de la miniaturización.

3. Es necesaria una persona que articule o sirva de puente para formar grupos multidisciplinarios, que se dedique a conseguir recursos, que obligue a colaborar y de seguimiento a los proyectos, así como a promocionar la vinculación externa ya sea nacional o extranjera, divulgando los servicios del centro (el papel podría recaer en los directores de los centros de I&D). A su vez, para cada proyecto de investigación e innovación es importante un responsable o líder que organice y coordine al grupo de trabajo.

4. Es esencial contratar técnicos calificados y bien remunerados para mantener en condiciones óptimas los equipos de los cuartos limpios. El financiamiento también es importante para conservar en forma operacional los cuartos limpios de los centros de I&D, su costo (gases, electricidad, aire acondicionado y hornos) varía pero como referencia se estima que un cuarto limpio en una universidad requiere aproximadamente 200 mil dólares anuales. Una forma para contribuir en los costos de mantenimiento del cuarto limpio, es establecer una tarifa accesible para su uso, monto que tiene que estar dentro del presupuesto de cada proyecto.

- El equipo de fabricación de MEMS para técnicas convencionales es muy costoso, pero hay una alternativa muy interesante para nivel de docencia que ha desarrollado el Dr. Mathieu Hautefeuille y un grupo de estudiantes en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Es un equipo láser para hacer microfabricación de prototipos, de forma barata, sencilla y rápida<sup>329</sup>, cuyo costo oscila entre 20 a 25 mil pesos. Se propone la introducción de este tipo de equipo para el aprendizaje de los estudiantes de licenciatura o inclusive para realizar investigación de cierto nivel.

5. Con personal docente de buen nivel es posible la formación de una masa crítica de estudiantes, requiriendo para este tipo de tecnología la mayor cantidad de personas con estudios de posgrado. Se necesitan recursos humanos especializados en fabricación, diseño, análisis y aplicación de MEMS. Cada centro de I&D decidiría con que instituciones establecer intercambio académico para la realización de estancias en el extranjero de sus

---

<sup>329</sup> Se refiere a que en una hora se sabe si el proceso de fabricación va a funcionar y se puede proyectar más rápido como hacer el dispositivo.

estudiantes, pero se presenta también la disyuntiva de captar el retorno y permanencia de este talento.

- Proponiéndose por lo tanto un esquema especial con préstamos preferentes para apoyar *start-ups* con estudiantes e investigadores de los centros MEMS que desarrollen dispositivos microtecnológicos para problemas puntuales. Permitiéndoles dividir su tiempo entre la docencia y la empresa tecnológica.
- Para vincular la academia y la industria se propone una alternativa de posgrado que permita a los estudiantes enfocarse en una solución en específico para una empresa, validándose como proyecto de maestría o doctorado, y financiándose parcialmente por la industria interesada<sup>330</sup>.

6. Reclutar en cada centro un agente especial para escribir las propuestas de proyectos y que se ocupe de la tramitación correspondiente a las patentes. En este tema sobre los derechos de propiedad intelectual de los inventores, se propone:

- Una asesoría legal efectiva disponible para proteger correctamente las patentes de los inventores.
- Y para incentivar la innovación, se debe establecer un sistema de recompensa más generoso para los inventores, que consista en una participación en las regalías de las patentes<sup>331</sup>.

---

<sup>330</sup> La sinergia de la academia con la industria es muy débil y una de las causas de esta situación, es la falta de un lenguaje comprensible para el inversionista, que se rige por una cuestión de números, en el sentido del ahorro en costos o la ganancia en un porcentaje previsible. Todavía es muy prematuro la posible relación, pero se espera que a medida que cada centro MEMS de I&D, adquiera credibilidad y experiencia en esta tecnología, habrá más empresas interesadas en contratar sus servicios para desarrollar o mejorar un proceso y/o un producto.

<sup>331</sup> Desde el punto de vista del Dr. Víctor M. Castaño más que generar un aparato burocrático como una secretaría o incrementar la inversión en ciencia y tecnología, es necesario estructurar una ley que realmente incentive la innovación compensando a los generadores de invenciones.

## CONCLUSIONES GENERALES

El objetivo de esta tesis se centra en aquellas innovaciones de países en desarrollo como China y México dentro de la industria de los Sistemas Micro Electromecánicos o MEMS, que sean una alternativa competitiva en un contexto de redes globales de producción e innovación. El tipo de innovación de interés es la llamada “innovación tardía” de Dieter Ernst o de países de recién ingreso a la contienda tecnológica, recurriendo en particular también a la innovación frugal que apela a la expresión “hacer lo mejor posible con lo que se tiene”. Este último concepto resulta más apto para las condiciones bajo las cuales el proceso de innovación se lleva a cabo en este tipo de países: entorno con debilidad institucional, restricción de presupuesto, recursos limitados y mercados con consumidores de bajos ingresos. Asimismo es importante precisar que la experiencia de China en la tecnología MEMS, se asume como un referente interesante en relación al caso de México, dado que cuentan con diferentes trayectorias tecnológicas.

Los Sistemas Micro Electromecánicos o MEMS, es una tecnología de componentes que debe visualizarse como una parte integral dentro de un sistema o producto final. Esta tecnología combina elementos mecánicos (partes móviles) y electrónicos (o eléctricos) que funcionan como sensores y actuadores en un dispositivo de tamaño micrométrico (dimensiones entre un micrómetro y un milímetro), fabricado con técnicas y materiales similares a los semiconductores. El rango de aplicación de los MEMS es muy diverso tanto en el ámbito científico y tecnológico, hasta abarcar industrias tales como la automotriz, médica, industrial, telecomunicaciones, petrolera, aeroespacial y otras (Oropeza y Hautefeuille, 2010). Los MEMS como parte de la industria de los semiconductores, incursionan en ámbitos tan novedosos como la Bioingeniería (desarrollando implantes de retina o el monitoreo inalámbrico de pacientes mediante la incorporación de sensores) o Internet de las Cosas, cuya conversión del mundo físico en un tipo de sistema de información sensitivo (sensores y actuadores embebidos en objetos, desde carreteras a marcapasos conectados a internet), recolectará datos en cualquier lugar en tiempo real con importantes implicaciones a nivel de análisis de información y toma de decisiones.

La naturaleza de la tecnología MEMS implica una abierta colaboración que mejore la idea y el diseño, en un proceso iterativo en el cual los diseñadores hacen simulaciones tanto como les sea posible, procesan, prueban y rediseñan hasta converger empíricamente en el concepto original<sup>332</sup>. Es un trabajo de equipo de interacción constante entre ingenieros de diseño, ingenieros de procesos (su experiencia indica la tolerancia o las limitaciones de la fabricación y las opciones en el encapsulamiento o empaquetamiento) que cuenten con equipo de prueba sofisticado y personalizado, así como la intervención de especialistas de otras disciplinas según las especificaciones del dispositivo, conllevando la comercialización de un MEMS un lapso mínimo de cinco años y una gran inversión. Su expansión en potenciales aplicaciones ha inducido la continua búsqueda de nuevos materiales y procesos de uso más conveniente y de menor costo. Actualmente esta tecnología se rige por la ley de “Un producto y un proceso”, que desde cierto punto de vista puede ser una desventaja por su escasa estandarización, pero por otro lado genera e impulsa energías creativas que fructifican en nuevas ideas y novedosas formas encauzadas hacia el mejoramiento continuo.

La interdisciplinariedad de la tecnología MEMS remite hacia la idea detrás del proceso interpretativo de la innovación (concepto de Lester y Piore), cuya dinámica es similar a una comunidad lingüística donde fluyen libremente las ideas favoreciendo la expresión creativa. 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. 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. Teniendo ésto en mente, los estudios de caso de ambos países (México y China) se documentaron a partir de proyectos realizados dentro de la universidad, ya que son instituciones capaces de realizar la investigación básica o de exploración con horizontes a largo plazo, cuyos beneficios trascendentales en la sociedad y economía han revolucionado y cambiado nuestra interacción con el mundo (tal es el caso de invenciones como el láser, GPS, Internet

---

<sup>332</sup> Las propiedades mecánicas de las películas delgadas son muy sensibles a las condiciones de deposición química, así las simulaciones de diseños mecánicos no serán exactas al menos que los materiales trabajados sean caracterizados y monitoreados (Fitzgerald, 2006).

o avances en los semiconductores, tecnologías que se han investigado a lo largo de 60 años)<sup>333</sup>.

La intención de este trabajo de investigación ha sido confrontar dos modelos de política pública en ciencia y tecnología en MEMS, de las cuales puedan derivarse lecciones importantes para comprender las diversas alternativas en la construcción de capacidades científico-tecnológicas y su vinculación al sector productivo emprendidas por ambos países. China se ha elegido como modelo de referencia por su rápido ascenso en la industria electrónica y cuya competencia ha logrado desplazar a México desde la crisis de 2000-2001 en su mercado más importante, que es el estadounidense. 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

De forma inevitable, al hablar de la política de ciencia y tecnología hay que referirlo como parte de un programa de desarrollo política de ciencia y tecnología con el sector productivo.económico, que en el caso de China guarda cierta reminiscencia con la planificación estatal soviética pero que adquiere su peculiaridad en un estilo *sui generis* conocido como “socialismo de mercado”. Es decir, que para modernizar a su economía en términos tecnológicos, China ha fijado objetivos, planificado, facilitado la acción, controlado las decisiones y dirigido el desempeño<sup>334</sup> desde hace más de tres décadas. En el caso de México, su política desde los ajustes estructurales incorporados en los compromisos con el FMI, se ha compenetrado más con la idea de la operación libre del mercado (o curso natural de los acontecimientos), enfatizando el comportamiento de

---

<sup>333</sup> Richard K. Templeton, director general de la empresa *Texas Instruments Incorporated* ante el Comité de Ciencia, Espacio y Tecnología de E.U. en 2013, reivindicó el papel catalizador del Estado en la innovación, reiterando el efecto negativo del recorte fiscal en rubros considerados fundamentales para conservar el liderazgo científico de E. U ante la competencia.

<sup>334</sup> David Landes en el ensayo: “Algunos países en desarrollo prosperan y otros se estancan ¿Por qué se ha vuelto más difícil salir del atraso?”, indica que este punto de vista guarda cierta coincidencia con los países europeos durante la depresión, los cuales optaron por una economía keynesiana. En ese tiempo se planteó la necesidad de un Estado fuerte que otorgara el capital suficiente para adquirir equipo y plantas, así como capacitar a los trabajadores en disciplinas y habilidades técnicas que emularan la revolución industrial inglesa.

maximización de los agentes individuales sin la necesidad de que intervenga el Estado, cuyo papel debe limitarse a eliminar los obstáculos de cualquier restricción que impida su libre funcionamiento. Este criterio ha desvirtuado la importancia de la ejecución del Estado en México, como una fuerza representativa de la sociedad que dirija activamente un proyecto económico nacional consensuado.

Se aclara que los estudios de caso en sentido estricto se encuentran en la etapa previa a la innovación, concentrándose el análisis a partir de la conceptualización de la idea y el proceso iterativo o ciclo del “diseño-fabricación de prototipo-prueba” del dispositivo MEMS, durante el cual los diseñadores hacen simulaciones tanto como les sea posible, procesan, prueban y rediseñan hasta converger empíricamente en un diseño funcional. De los estudios de caso de los centros de investigación bajo análisis en torno a la tecnología MEMS de ambos países, se desprenden hallazgos muy interesantes, advirtiendo que hay una búsqueda de alternativas de lo ya existente para desarrollar métodos propios, de algún modo siguiendo la directriz hacia el desarrollo de procesos sencillos, baratos y rápidos, así como dispositivos para una aplicación en específico que responda a la demanda de alguna necesidad local (*biochip* para detectar tuberculosis, sensores MEMS para la explotación de pozos petroleros y otros). Estas características coinciden con algunos aspectos de la innovación tardía de Dieter Ernst (innovación incremental o mejoramiento de procesos y productos) y de la innovación frugal (combinación de tecnologías existentes en nuevas formas). La inserción de ambos países en la nueva geografía del conocimiento propuesta por Dieter Ernst dentro de la cadena global de valor de los MEMS, acontece de distinta forma, ya que evidentemente son muy distintas las condiciones “macro, micro, meso y meta” bajo las cuales ha evolucionado la difusión de la tecnología MEMS. Dicho lo cual, es de sumo interés precisar las características que han adquirido la absorción y divulgación de esta tecnología por cada país.

En el caso de México, las conclusiones 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. 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 sustenta 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<sup>335</sup>, con poca propensión a invertir en innovación a causa del alto costo de desarrollo en el mercado local<sup>336</sup> 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

---

<sup>335</sup> El Dr. José Mireles según su experiencia en la región del norte del país, percibe que la empresa se ha acercado a la academia, demandando un servicio tipo maquilador o de integración de productos. Por el momento ninguna empresa posicionada en algún ramo de la industria ha querido desarrollar o mejorar un proceso y/o un producto.

<sup>336</sup> El Dr. Oleksandr Martynyuk del Proyecto UNAMems explica que por ejemplo en México, se necesitan estaciones de comunicación punto a punto pero que las empresas en lugar de desarrollar un prototipo para producir 100 estaciones, eligen comprarlas a empresas que producen docenas de miles para todo el mundo. Ante este panorama industrial casi nadie se involucra en un proyecto de desarrollo porque están conscientes de que será muy caro, con baja probabilidad de éxito debido a la falta de experiencia o/y por falta de personal especializado.

especializadas, corriéndose el riesgo de que alguna empresa con la infraestructura necesaria comercialice y proteja<sup>337</sup> la innovación. El blindaje de la patente contra la piratería<sup>338</sup>, 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. Ante la incertidumbre del futuro de la tecnología MEMS en México, existe el temor de que la inserción a la cadena de valor global de los MEMS o la relación que se establezca con las empresas líderes, se haría bajo un esquema de “explotación de la base doméstica”. En otras palabras, que sí hubiera interés en relocalizar actividades de I&D por empresas líderes de MEMS en el territorio mexicano, se desencadene un fenómeno muy similar a lo que acontece en la industria aeronáutica, que se ha dado en llamar “la nueva maquiladora mexicana”<sup>339</sup>. Refiriéndose a la contratación de mano altamente calificada de bajo costo que incube en su totalidad la investigación y desarrollo en el país, generando invenciones cuyo beneficio sea explotado por parte de empresas extranjeras.

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

---

<sup>337</sup> Las empresas disponen de asesoría legal, incrementando la probabilidad de ganar en un juicio tentativo por la autoría de la patente.

<sup>338</sup> Existen agencias extranjeras especializadas que localizan publicaciones y patentes potenciales de países en desarrollo, modificando y registrando la patente para su explotación.

<sup>339</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.

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>340</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. Aún cuando 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, 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

---

<sup>340</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.

económica la meta de satisfacer el mercado interno y se concentra en innovaciones adaptadas *ad hoc*, muchas veces patrocinadas dentro de esquemas de normatividad gubernamental<sup>341</sup>. 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 trasnacional 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*” 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).

Sin obviar que México y China han desarrollado una base tecnológica mediante una determinada estructura social, económica y política, se considera que un punto de comparación entre ambos países, 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

---

<sup>341</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/c).

relación más ventajosa de “transferencia tecnológica”, especialmente durante el TLCAN<sup>342</sup>, cuya meta principal fue la captación de inversión extranjera directa para dinamizar la economía mediante las exportaciones, de modo que se alcanzara eventualmente una balanza comercial positiva. 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 (Altex, Pitex e IME), que contiene 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 envicia el hábito importador, que desincentiva la incubación de encadenamiento endógenos, convirtiéndose en un enorme dilema para la política pública (Dussel, 2003/c)<sup>343</sup>. En 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.

De los resultados que se han presentado anteriormente, no se pretende reducir el éxito o fracaso del proceso de innovación en la industria de los MEMS exclusivamente a la aplicación de una política activa en pro de la ciencia y la tecnología, pero sin duda las condiciones que alientan este proceso facilitan el panorama y aumentan las oportunidades.

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>344</sup>. De modo

---

<sup>342</sup> Tal fue lo que aconteció en el *cluster* de Jalisco, atribuyéndose la limitada transferencia tecnológica, a las restricciones de la propiedad intelectual impuestas por empresas transnacionales con una estrategia deliberada dentro de la región para limitar su difusión, barreras financieras para su adquisición por empresas nacionales y a otros factores concernientes a deficientes instrumentos de políticas gubernamentales (Rivera Vargas, 2004).

<sup>343</sup> Dussel Peters advierte también que la perspectiva de las empresas transnacionales requieren de elementos que cumplan con proveeduría en “tiempo real”, cantidad, calidad, seguridad y certidumbre de entrega, calificación de la fuerza de trabajo, insumos y precios, para considerar la integración de una empresa a la red global. Es decir, que los encadenamientos productivos dependen de una red de proveeduría local y nacional adecuada a estos fines.

<sup>344</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

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<sup>345</sup> que son poco proclives a la libre discusión de ideas<sup>346</sup>. El arraigamiento de costumbres conservadoras, el miedo y sospecha ideológica acerca de lo novedoso y externo, pueden constituirse en obstáculos importantes sobre todo cuando limita el ambiente cognoscitivo y social, para establecer vínculos de comprensión (la habilidad para entender y absorber), aplicación y oportunidad en el proceso de innovación<sup>347</sup>. No se debe presuponer la homogeneidad y la suficiencia de los ingredientes o factores productivos convencionales (equipo, materias primas y fuerza de trabajo), ya que se incurriría en el peligro de ignorar los aspectos culturales de cada sociedad que entretejen el conocimiento, habilidades e iniciativa imprescindibles para la innovación.

---

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).

<sup>345</sup> El Dr. Horacio Estrada (que durante muchos años fungió como profesor en *Mechanical Engineering and Engineering Science Department, University of North Carolina-Charlotte*) comenta que en la academia americana está profundamente arraigada la capacidad de colaborar, exigiendo a los estudiantes un trabajo personal exclusivo; la formación de grupos de trabajo, donde se discute todo hasta el reporte del experimento; se exige una redacción impecable de la escritura técnica y excelente expresión oral en las presentaciones; el profesor tiene como obligación un número de horas a disponibilidad del estudiante para resolver dudas. Su percepción de los estudiantes mexicanos de ingeniería por otro lado, es que son muy autodidactas (lo cual tiene sus ventajas) por la insuficiente asistencia técnica por parte del profesor; y la redacción en español es bastante deficiente por su experiencia en la revisión de artículos publicados.

<sup>346</sup> Al platicar con varias personas (de la embajada mexicana en Beijing, Universidad de Peking y Universidad de Tsinghua) sobre el tipo de educación que se imparte en China, se coincidía que el estudiante desarrollaba en su mayor parte capacidades de memorización pero no las capacidades de reflexión, y la universidad contaba con estructuras muy autoritarias, de modo que era muy difícil dejar de lado ese comportamiento aprendido y ser más activo, participativo, que se expresara realmente la opinión personal.

<sup>347</sup> David Landes en su ensayo "*The Creation Knowledge and Technique: Today's Task and Yesterday's Experience*", considera que el conocimiento y las habilidades no son cosas incorpóreas que pueden ser propagadas y recibidas a voluntad.

Se considera que las aportaciones más relevantes que se han logrado con esta tesis de investigación son las siguientes:

- El marco conceptual de competitividad sistémica ha resultado de gran utilidad para comparar los procesos y productos de los MEMS en ambos países a gran detalle, permitiendo comprender de forma más realista los procesos de innovación. En el caso de China hay una visión mucho más sistémica y pragmática de apoyo, con horizontes de mediano y largo plazo, de integración de instituciones y varios sectores cuya meta es desarrollar tecnología endógena. Mientras que en el caso de México, en comparación no se cuenta con una visión sistémica y la innovación procede de iniciativas del ámbito académico.
- Un aporte interesante en términos empíricos, se logró valiéndose de las entrevistas a varios especialistas y actores involucrados con el tema de los MEMS. Esta fuente de primera mano ha permitido una introspección del proceso de innovación de los MEMS, llegando al punto de conocer con mayor claridad cómo se inspiran y conciben las ideas originarias, encuadrándose el problema específico en un núcleo de trabajo en constante expansión al requerir de otros especialistas. Se constató que los grupos multidisciplinarios en este tipo de tecnología enfrentan problemas lingüísticos que requiere de la transmutación en un lenguaje de comprensión (proceso interpretativo de Piore y Lester) para establecer el diálogo en puntos de contacto que permitan en espacio y tiempo, ambientes culturales vigorosos. Se aprendió que la experiencia en los procesos de fabricación es fundamental en la parte experimental para el proceso de diseño de los dispositivos MEMS. La fragmentación y especialización de la cadena de valor denota ventajas para las empresas líderes pero crea desventajas para aquellos países en desarrollo cuyas actividades tienen el propósito de generar nuevo conocimiento y prácticas de innovación, en circunstancias donde no se cuenta con la experiencia de conjunto que comprenda la fabricación. Es un tema de suma trascendencia para determinar de forma objetiva las oportunidades reales de aquellos países en desarrollo que buscan innovar en productos y procesos de dispositivos MEMS, enfocándose en actividades de diseño e I&D, sin considerar que esta tecnología implica ir

construyendo sobre un proceso de diseño por corrección, pautada en todo momento desde las limitaciones de la fabricación.

Por último, agregaría una anotación especial en relación a la globalización de las cadenas de producción e innovación, las cuales entraña en su versión más positiva, una noción de “optimismo tecnológico” proyectado en una imagen de expansión de los mercados y la potencialización económica de las sociedades<sup>348</sup>, no obstante en el espacio de intersección entre lo global y local/nacional predominan los mandatos empresariales transnacionales sobre los intereses públicos de la mayoría, arraigados a su territorio<sup>349</sup>. Este fenómeno perpetúa condiciones asimétricas según palabras de García Canclini en “*un conjunto de procesos de homogeneización, y a la vez, de fraccionamiento articulado del mundo, que reordenan las diferencias y las desigualdades sin suprimirlas*”. La omnipresencia de las empresas transnacionales en el ámbito productivo, financiero y, de la información y entretenimiento alrededor del mundo crea comunidades transnacionales de consumidores, que captan el mensaje homogeneizador y se ciñen a la lógica del mercado<sup>350</sup> la cual se interioriza como un horizonte absoluto, de ahí que se diluyan y subordinen las disputas políticas y las diferencias culturales. Ante esta asunción, el Estado socavado en su

---

<sup>348</sup> Néstor García Canclini explica que la globalización es muy receptiva gracias al alcance e impacto que promete: “Pero la globalización es también el horizonte imaginado por sujetos colectivos e individuales, o sea por gobiernos y empresas de los países dependientes, por realizadores de cine y televisión, artistas e intelectuales, para reinsertar sus productos en mercados más amplios. Las políticas globalizadoras logran consenso, en parte, porque excitan la imaginación de millones de personas al prometer que los <dos más dos> que hasta ahora sumaban cuatro pueden extenderse hasta cinco o seis. Muchos relatos de lo que les ha sucedido a quienes supieron adaptar sus bienes, sus mensajes y sus operaciones financieras para reubicarse en un territorio expandido indican que el realismo de lo local, de quienes se conforman con sumar cifras nacionales, se habría vuelto una visión miope” (García, 1999).

<sup>349</sup> El sociólogo Ulrich Beck explica que el poder del capital ha neutralizado a los Estados nacionales, desde el momento en que las empresas transnacionales pueden localizar sus actividades donde sean más bajos los costos laborales y las cargas fiscales, condicionando a los Estados a garantizar infraestructuras óptimas; y desde que las tecnologías de la información permiten desagregar los productos y servicios globalmente. La eliminación de trabas a la inversión extranjera permite dispersar el lugar de inversión, el lugar de producción, el lugar de declaración fiscal y el lugar de residencia. Asimismo, es el recurso para dismantelar la normatividad sindical y asistencial, pilares de la sociedad al que el Estado debe responder (Beck, 1998).

<sup>350</sup> De acuerdo a la opinión de Jesús Martín Barbero, la dimensión económica se rige por una racionalidad intrínseca que no compatibiliza con la dimensión política-social, es decir, “el mercado no puede sedimentar tradiciones porque su tendencia esturatural se dirige hacia la obsolescencia acelerada y generalizada, no sólo de las cosas sino también de las formas y las instituciones; el mercado no puede crear vínculos societales, porque estos se constituyen en procesos de comunicación de sentido, y el mercado opera anónimamente mediante lógicas de valor que implican intercambios puramente formales, asociaciones y promesas evanescentes que sólo engendran satisfacciones o frustraciones pero nunca sentido; y finalmente el mercado no puede engendrar innovación social pues ésta presupone diferencias y solidaridades no funcionales, resistencias y disidencias, mientras el mercado trabaja únicamente con rentabilidades” (García, 2000/a).

autodeterminación se ve nulificado en sus funciones de regulación y arbitraje, dilema que obliga a preguntarse (parafraseando un poco a García Canclini en su frase categórica: Globalizarnos o defender nuestra identidad) ¿que hacer? ¿resistir la globalización o buscar alternativas de integración?, lo cual tiene un significado determinante en el tema que nos compete, “los procesos de innovación”. A mi parecer la forma de abordarlo no debe recaer en una posición extrema o radical al asumir una interpretación explicativa maniquea que conciba lo externo (o fuera de las fronteras nacionales) como la fuente ineludible del mal que afecta al país, porque se evita la introspección nacional y evade la autorresponsabilidad. Tampoco es concebible obviar que existen fuertes barreras a la entrada de las redes globales de la innovación en términos de inversión, capacidades tecnológicas o del deficiente andamiaje institucional que impulse y regule la innovación, muchas de las cuales dada la situación actual de sucesos externos e internos <sup>351</sup>que inducen a la crisis, nos coloca en una situación de mayor desventaja. Asumo que lo que nos queda por hacer es plantear diversas interrogantes: ¿Qué posibilidad se tiene de encontrar espacios a futuro de conciliación o de negociación más equitativa en los procesos de innovación en México sobre el actual tablero global, cuyas reglas de juego predisponen de antemano condiciones asimétricas? ¿Cómo coexistir espacialmente y temporalmente dentro de los mercados globales? ¿Y que implicaciones tiene las anteriores interrogante en el tema de estudio: los proceso de innovación?. En esta reflexión, el primer paso a seguir sería presentar un diagnóstico de los procesos de innovación de la tecnología MEMS en México, desde la perspectiva de la competitividad sistémica en sus cuatro niveles diferentes de análisis: “micro, macro, meso y meta”:

A nivel micro, los procesos de innovación en centros de I&D se despliegan en un estadio pre-industrial y no han logrado articularse al sector productivo puesto que los recursos en masa crítica (especialistas de la tecnología) e infraestructura son insuficientes. Por lo tanto,

---

<sup>351</sup> La actual caída de los precios del petróleo que evidencia la reiterada opinión de expertos en diversos círculos de académicos, intelectuales u otros, de que somos una economía petrolizada y que cualquier oscilación negativa del mercado impacta fuertemente en el presupuesto gubernamental. Teniendo como consecuencia la decisión unilateral del Estado de restringir el gasto público en rubros que muy probablemente afectarán los circuitos directos o indirectos para realizar procesos de innovación. Y en el entorno nacional, el desgaste de una ejecución gubernamental que deja mucho que desear en los diversos ámbitos: económico (liberalización de los mercados energéticos y de telecomunicaciones), social (el avance del terror e intimidación del narcotráfico en la cotidianidad de la vida nacional, entre otros) y político (degradación y retrocesos de los principios adquiridos en nuestra recién democracia tales como la libertad de expresión, ley de transparencia y acceso a la información pública).

no hay un ecosistema de empresas locales relacionadas que interactúen internamente, las alternativas se encuentran en el exterior y las instituciones o empresas en el extranjero se han vinculado con los proyectos en cursos de los centros de I&D locales, como puntos de apoyo pero no como socios comerciales con una estrategia que satisfaga un nicho de mercado.

A nivel macro, la política de ciencia y tecnología en referencia específica a los MEMS se limitó a un programa ineficaz que intentó articular una red de empresas e instituciones académicas pero sin un plan estratégico a mediano o largo plazo. De igual forma, los recursos financieros para programas de vinculación entre empresa y centros de I&D auspiciados por CONACYT, se han restringido a causa de la política gubernamental de austeridad.

A nivel meta, no hay un plan consensuado de desarrollo económico congruente en el sentido de explorar diferentes vías para hacer despegar esta tecnología. Es decir, para conseguir la madurez tecnológica es fundamental planear la creación suficiente de masa crítica e infraestructura y su articulación con el sector productivo. La consolidación de vías alternativas para formar alianzas podrían emerger en diferentes niveles: el académico con intercambios en el exterior para formar especialistas en los diferentes grados a partir de licenciatura; en el ámbito empresarial nacional e internacional con la experimentación de diversos esquemas de coinversión y examinar esquemas que gratifiquen o alienten el espíritu empresarial de investigadores que desarrollen esta tecnología, etc.

Y finalmente a nivel meso, la conjugación de los mecanismos, políticas e instituciones que atañen a la competitividad de la tecnología MEMS, es una dimensión bastante compleja que implica una cultura cooperativa y de organización con una posición dinámica propensa a experimentar y buscar la formación de condiciones competitivas en los procesos de innovación. En el caso de México existen inercias arraigadas en la política y en la sociedad que no estimulan eficazmente a la innovación.

Dada esta apreciación del status actual de la tecnología MEMS en México en un escenario globalizado, aporta algunos indicios que me conducen a suponer que urge una reconversión del papel del Estado, en el que se analice y coordine los procesos de innovación bajo una visión lo más clara posible de los desafíos de la globalización. Asimismo todos los actores involucrados en el desarrollo de esta tecnología deben ser capaces de reconocer la

productividad de los intercambios y los cruces, reinventar nuevas formas de participar en varios escenarios y explorar canales que socialicen los beneficios de experiencias heterogéneas<sup>352</sup> para impulsar procesos de innovación en un contexto mundial de permanente cambio.

---

<sup>352</sup> El cambio adaptativo y transformativo necesario de nuestra sociedad apela al concepto que García Canclini describe como hibridación, "...procesos socioculturales en los que estructuras o prácticas discretas, que existían en forma separada, se combinan para generar nuevas estructuras, objetos y prácticas...A veces esto ocurre de modo no planeado, o es resultado imprevisto de procesos migratorios, turísticos o de intercambio económico o comunicacional. Pero a menudo la hibridación surge de la creatividad individual y colectiva. No sólo en las artes, sino en la vida cotidiana y en el desarrollo tecnológico. Se busca reconvertir un patrimonio (una fábrica, una capacitación profesional, un conjunto de saberes y técnicas) para reinsertarlo en nuevas condiciones de producción y mercado. Aclaremos el significado cultural de reconversión: se utiliza este término para explicar las estrategias mediante las cuales un pintor se convierte en diseñador, o las burguesías nacionales adquieren los idiomas y otras competencias necesarias para reinvertir sus capitales económicos y simbólicos en circuitos transnacionales (Bourdieu 1979: La distinction: Critique social du jugement) (García, 2003).

## GLOSARIO

**Acelerómetro.** Dispositivo utilizado para medir la magnitud y/o dirección de la aceleración de un objeto, tanto traslacional como angular. Por ejemplo, se emplea sensores de movimiento para el control de la interfaz de usuario. La detección de inclinación y de aceleración permite cambiar entre los modos vertical y horizontal la visualización de la pantalla.

**Actuador.** Dispositivo o máquina que activa el sistema de control de un proceso; la naturaleza de esta señal determina el tipo de actuador (hidráulico, neumático, electrónico, etc.). Son un grupo de dispositivos diseñados para proporcionar un estímulo a otros componentes o dispositivos MEMS. En los microsistemas los actuadores son operados electrostática o térmicamente.

**Aerodinámica.** Ciencia que estudia los fenómenos físicos originados por movimiento del aire u otros gases y de las fuerzas que actúan en los cuerpos que se mueven, o están en reposo, en el seno de los mismos.

**Algoritmo.** Conjunto de reglas que expresa la manera de resolver un problema o conjunto de problemas un número finito de pasos.

**Alta resolución.** Nivel alto de precisión con el que una imagen digital o impresa es capaz de representar los detalles de la imagen original. Por ejemplo, una resolución de tipo alto utilizará un número también alto de líneas por milímetro o un número elevado de elementos de ilustración, como técnica específica, para representar esa imagen.

**Amortiguamiento.** Capacidad de un sistema o componente para absorber energía mecánica y disiparla en forma de calor (energía térmica) o deformación permanente (energía plástica).

**Archivo.** En informática es un fichero que contiene información.

**ASIC (Circuito integrado de aplicación específica).** Circuito integrado que está diseñado para realizar una funcionalidad particular y por lo tanto no es de uso general.

**Automación de datos.** Empleo de equipo electrónico, electromecánico o mecánico, junto con las técnicas operativas asociadas para registrar, comunicar y procesar automáticamente los datos y para presentar la información resultante de estas operaciones.

**Autómata.** Instrumento o aparato que encierra dentro de sí el mecanismo que le imprime determinados movimientos, consiguiendo un comportamiento autónomo.

**CAD CAM (Diseño asistido por computadora).** Área de la informática que estudia la aplicación de los computadores en el diseño y la fabricación de productos industriales, proporcionando ayuda durante la concepción, el desarrollo y la fabricación de dichos productos.

**Biochip.** Dispositivo de dimensiones muy pequeñas, análogo a un circuito integrado, ensamblado o usado para analizar moléculas orgánicas asociadas con los organismos vivientes.

**Bolómetro.** Detector térmico o Instrumento que mide la energía de radiación electromagnética en ciertas regiones de longitud de onda, utilizando la variación de resistencia de un delgado conductor producida por el efecto de calentamiento de la radiación.

**Calibración.** Operación a la que un dispositivo o instrumento es sometido para asegurar la precisión con la que una magnitud es medida o generada.

**Campo magnético.** Región del espacio en la que una carga eléctrica que se desplaza experimenta los efectos de una fuerza.

**Capacidad de memoria.** Cantidad de datos que pueden residir simultáneamente en un dispositivo de memoria, expresada en palabras de una longitud especificada, en caracteres, en dígitos, en bytes, o bien en bits.

**Cápsula endoscópica.** Es un dispositivo de reducidas dimensiones que, a través de la ingestión oral, permite la obtención de imágenes del tubo digestivo durante su recorrido fisiológico a través de este. El sistema completo consta de un dispositivo endoscópico en forma de cápsula, un videograbador que el paciente porta durante el tránsito intestinal de la cápsula y un ordenador externo para procesar las imágenes obtenidas.

**Característica C-V.** Las características C-V del capacitor MOS son una herramienta poderosa para el especialista en dispositivos, ya que revelan la naturaleza interna de la estructura y permiten identificar desvíos respecto al comportamiento ideal tanto en el óxido como en el semiconductor. Durante la fabricación de los dispositivos es habitual el control de las características C-V. La curva mide la capacitancia y voltaje: la primera, es la propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica y el segundo, es el trabajo que ha de hacerse contra las fuerzas eléctricas para llevar una unidad de carga desde un punto de referencia hasta el punto en cuestión; el punto de referencia está situado a distancia infinita, o, para fines prácticos, en la superficie de la tierra o de algún otro conductor grande.

**Celda electroquímica.** Dispositivo capaz de obtener energía eléctrica a partir de reacciones químicas, o bien, de producir reacciones químicas a través de la introducción de energía eléctrica.

**Chip.** Pequeño circuito integrado que realiza numerosas funciones en ordenadores y dispositivos electrónicos.

**Circuito grabado.** Circuito impreso formado mediante la eliminación química o electrolítica de porciones indeseadas de una capa de material conductor, unida a una base aislante.

**CMOS.** Tecnología consistente en utilización de transistores complementarios con un consumo muy reducido de corriente.

**Código abierto.** Código de programación de aplicaciones que queda compartido por diferentes usuarios y no protegido por los derechos de autor de tal manera que la propia comunidad de desarrolladores lo van mejorando de manera altruista y su distribución y uso es gratuito.

**Coenzima.** Cofactor orgánico no proteico, termoestable, que unido a una apoenzima constituye la holoenzima o forma catalíticamente activa de la enzima.

**Cojinete.** Pieza o conjunto de piezas en las que se apoya y gira el eje de un mecanismo y cuya función es la disminuir el rozamiento de las superficies de contacto.

**Compás magnético.** Aguja náutica compensada cuya fuerza directiva depende de la atracción de una componente horizontal del campo magnético terrestre para una aguja imantada o elemento detector que está libre para girar en cualquier dirección horizontal con un mínimo de fricción.

**Componente activo.** Componente cuyo funcionamiento depende de factores externos, tal como un accionamiento mecánico o eléctrico.

**Control numérico.** Control por computador del movimiento de la herramienta de una máquina de mecanizado que permite la programación y automatización de las tareas a realizar por la máquina.

**Consola de videojuego.** Una videoconsola o consola de videojuegos es un sistema electrónico de entretenimiento para el hogar que ejecuta juegos electrónicos contenidos en cartuchos, discos ópticos, discos magnéticos, tarjetas de memoria o cualquier dispositivo de almacenamiento.

**Cultivo in vitro.** Conjunto de técnicas destinadas a introducir, multiplicar y regenerar, entre otros recursos, material vegetal o animal en condiciones controladas y asépticas; constituye un paso fundamental en la obtención y regeneración de plantas genéticamente modificadas o transgénicas, mediante técnicas de ingeniería genética.

**Dado (Die, en inglés).** Porción de oblea de semiconductor que contiene uno o varios circuitos integrados.

**Decodificador.** Circuito electrónico digital combinacional que genera los productos canónicos de un conjunto de variables binarias aplicadas a sus entradas, de forma que se activa sólo la salida correspondiente al producto canónico al que corresponde la entrada.

**Deposición.** Son técnicas comunes usadas para depositar capas uniformes de silicio, metales, aislantes o polímeros, entre los que se encuentran: métodos de crecimiento epitaxial, pulverización catódica (sputtering), evaporación, deposición química en fase vapor y métodos de giro.

**Deposición química.** Precipitación de partículas o sedimentos de una solución o suspensión sobre una superficie preexistente por medio de reacciones químicas.

**Die. Ver Dado**

**Digitalización.** Proceso que implica la conversión de datos o voz a formato digital para su transmisión o procesado.

**Diseño microelectrónico.** Concepción de la arquitectura de un circuito integrado así como de la disposición física de sus elementos, subsistemas y conexiones usando herramientas de simulación y emplazamiento.

**DRIED (Deep reactive-ion etching). Ver Grabado Reactivo Profundo de Iones**

**Eje.** Elemento de sección circular que gira sin transmitir potencia.

**Electrodeposición.** Proceso electroquímico en el que se usa una corriente eléctrica para reducir cationes en una solución acuosa que los contiene para propiciar la precipitación de estos, que suelen ser metales, sobre un objeto conductor que actúa como cátodo, creando un fino recubrimiento alrededor de este con el material reducido.

**Electromecánico.** Tecnología de dispositivos, sistemas o procesos mecánicos, que están accionados o controlados electrostática o electromagnéticamente.

**Electrónica digital.** Área de la electrónica que estudia los circuitos y los sistemas electrónicos que procesan señales eléctricas que sólo pueden tomar valores discretos, generalmente sólo dos asignados a los dígitos cero y uno, y que por eso reciben el nombre de señales digitales.

**Elementos finitos.** Método numérico para resolver de forma aproximada, ecuaciones en derivadas parciales que se reformulan mediante un método tipo Lagrange-Galerkin y una aproximación con funciones de pequeño soporte, es decir, con valor no nulo en una zona pequeña, sobre una malla computacional del dominio en estudio.

**Empaquetamiento de MEMS.** Una vez que se manufacturan los pequeños elementos de un MEMS se coloca sobre una estructura que lo protege del medio ambiente y le brinda a su vez soporte mecánico necesario para ser colocado en su lugar de trabajo. Las condiciones ambientales a las que estará sujeto el MEMS como el polvo, el ruido, la exposición a ambientes químicos o gases corrosivos, golpes mecánicos y otros, deben ser apropiadamente aislados. El proceso de empaquetamiento a niveles de fallas mecánicas y ensamble se visualiza como una plataforma, un sustrato, los elementos miniaturizados y una cubierta. Pero a otros niveles, este encapsulado debe integrarse a una tarjeta electrónica, que a su vez está integrada a sistemas de control o accionamiento. Es decir, la concepción de empaquetamiento involucra al usuario final del producto final.

**Embalaje.** Pieza proyectada para mantener otra pieza específica en una posición fija en virtud de las dimensiones de conformación o herrajes; el artículo que contiene es completo en sí mismo para extraerlo y utilizarlo independientemente del recipiente.

**Engranaje.** Conjunto de dos ruedas dentadas que encajan entre sí para transmitir movimiento y potencia desde un eje giratorio hasta otro.

**Epitaxia.** Proceso de crecimiento orientado de una película sobre un sustrato, que puede ser del mismo material que la película –homoepitaxia– o de un material diferente –heteroepitaxia–, dependiendo de la forma en que el material se transporta de la fuente al sustrato, los procesos epitaxiales se dividen en epitaxia; de fase líquida, de fase gaseosa y por haces moleculares.

**Epitaxia por haces moleculares.** Proceso para depositar un material sobre un sustrato en una cámara de alto vacío (10<sup>-8</sup> Torr), donde el material es expelido al calentarse como un fino rocío de átomos o moléculas que se depositan sobre el sustrato, produciendo la epitaxia ideal un material cuya estructura cristalina es igual a la del sustrato.

**Ergonomía.** Disciplina científica relacionada con la comprensión de las interacciones entre los seres humanos y los elementos circundantes con objeto de mejorar las prestaciones de aquellos y evitar lesiones o disfunciones como consecuencia de esta interacción.

**ESC (Electronic Stability Program).** El control electrónico de estabilidad (ESC), es también conocido por las siglas ESP (programa electrónico de estabilidad), VDC (Control dinámico del vehículo) o DSC (Control dinámico de estabilidad), según el fabricante que lo monte. Es un elemento de seguridad activa desarrollado por Bosch en los años 90s y se considera uno de los mayores avances en materia de seguridad del vehículo en los últimos años. El ESC está compuesto por un grupo de sensores y actuadores, gobernados por un cerebro. El control de estabilidad (salvo que se desconecte manualmente) está activado permanentemente. En él, un microordenador evalúa las señales de los sensores y comprueba 25 veces por segundo si las maniobras del conductor al volante se corresponden con el movimiento real del vehículo. Si éste se mueve en una dirección diferente a la deseada, el ordenador detecta esta situación crítica y reacciona de inmediato, independientemente del conductor. El ESC utiliza el sistema de frenos, decelerando independientemente cada rueda para mantener estable la trayectoria del vehículo. Con este frenado selectivo el control de estabilidad genera la necesaria fuerza opuesta, de manera que el vehículo obedece al conductor. El sistema también puede intervenir en el motor para reducir la potencia del mismo. De esta manera, siempre dentro de los límites de la física, el vehículo mantiene con seguridad la trayectoria deseada.

**Escáner.** Sistema que realiza la tomografía axial computarizada. Dispositivo electroóptico periférico de entrada, que convierte imágenes analógicas de tonos continuos, o un dibujo de línea, en información digital que puede ser interpretada y procesada por un ordenador.

**Estándar.** Forma pública, nacional o internacional, sobre sistemas informáticos (hardware y software) cuyo objetivo es defender la independencia de los usuarios frente a las casas

suministradoras de sistemas, tanto hardware como software, y proteger las inversiones realizadas por éstos.

**Estándar abierto.** Estándar comúnmente adoptado y no perteneciente a ninguna empresa concreta; disponible públicamente.

**Estereolitografía.** Es una de las técnicas pioneras en el mercado. Esta técnica consiste en desencadenar un proceso de polimerización mediante la incidencia de un láser UV de unos pocos miliwatios. Los puntos atacados por el haz láser solidifican, creando una capa consistente con la forma de corte que le corresponda en cada altura. La geometría 2D de cada corte o capa dirige el movimiento de dos espejos galvanométricos que reflejan el haz láser sobre la superficie de trabajo. Cuando una capa termina, mecánicamente baja un pistón, permitiendo que quede cubierta por la nueva capa líquida con el espesor deseado para continuar el proceso. Esta solidificación se va realizando por capas hasta completar la pieza. Posteriormente se precisa un post-curado para que la pieza quede totalmente solidificada. Este tratamiento se realiza en un horno bajo luz ultravioleta.

**Factor de calidad.** Parámetro adimensional definido como el cociente entre la energía almacenada en un resonador y la energía disipada, y que es igual al cociente entre la frecuencia de resonancia y el ancho de banda.

**Fotolitografía.** Técnica usada en microfabricación consistente en la transferencia de un dibujo geométrico desde una máscara a una capa fotoresina depositada en la superficie de un sustrato mediante exposición a luz ultravioleta. O proceso que consiste en transferir un patrón desde una fotomáscara (denominada retícula) a la superficie de una oblea, que se emplea como sustrato litográfico, no obstante existen otras opciones como el vidrio, zafiro, e incluso metales.

**Fotónica.** Es la ciencia que investiga y desarrolla la tecnología asociada con la generación y el control de la luz y otras formas de energía radiante cuya unidad cuántica es el fotón. Su propósito principal es la transmisión de información vía luz, usando los fotones como vehículos de datos e instrucciones. Estudia la emisión de luz, su transmisión, desviación, amplificación y detección por medio de instrumentos ópticos, láseres y otras fuentes de luz, fibras ópticas, equipo de instrumentos electro-óptica, y electrónica relacionada. El rango de aplicaciones de la fotónica se extiende desde la generación de energía hasta la detección de comunicaciones y el proceso de comunicación.

**Frecuencia.** Número de ciclos en un segundo de una corriente eléctrica alterna. Es la inversa del periodo.

**Fundición.** Objeto formado colocando una sustancia fundible en un molde o forma y dejándolo solidificar.

**Gigahertzio.** Unidad de medida de frecuencia, equivalente a mil millones de hertzios. Un hertzio es la unidad de frecuencia de una señal; se corresponde con un ciclo por segundo.

**Giroscopio.** Dispositivo mecánico formado esencialmente por un cuerpo con simetría de rotación que gira alrededor de su eje de simetría.

**Grabado.** El objetivo es eliminar material selectivamente usando los patrones grabados en el fotorresist como plantilla enmascarante. Este patrón puede grabarse directamente en un sustrato de silicio o en una película delgada la cual puede ser usada como máscara para subsecuentes grabados. Para llevar a cabo un ataque apropiado debe existir una alta selectividad entre el material enmascarante y el material que se quiere remover. En el grabado **isotrópico** el ataque se lleva a cabo de manera uniforme en todas direcciones, por lo cual se tienen cavidades redondeadas. Por el contrario, en un grabado **anisotrópico**, el ataque se lleva a cabo preferentemente en ciertas direcciones obteniendo cavidades delineadas por superficies planas bien definidas, las cuales no son necesariamente perpendiculares a la oblea. El medio en el cual se lleva a cabo el grabado puede ser húmedo o seco. El grabado húmedo tiene la ventaja de tener un bajo costo de fabricación por lote (se pueden grabar de 20 a 25 obleas simultáneamente) y puede ser isotrópico o anisotrópico. El grabado en seco se lleva a cabo mediante el uso de gases reactantes en un ambiente de plasma a baja presión. El equipo necesario para realizarlo es especializado, ya que requiere de una instalación con tubos ultra limpios para transportar y mantener la alta pureza de los gases reactantes hacia una cámara al vacío.

**Grabado Reactivo Profundo de Iones.** Es una tecnología de ataque utilizado en microfabricación. Se utiliza plasma químicamente reactivo para eliminar el material depositado en las obleas. El plasma se genera a baja presión por un campo electromagnético. Iones de alta energía procedentes del plasma atacan la superficie de la oblea y reaccionan con ella. El grabado con iones reactivos (RIE) es una combinación de sistemas de grabado por pulverización física y reactivos químicos a bajas presiones. El RIE utiliza bombardeo iónico para lograr un grabado direccional, y también un gas químicamente reactivo, tetrafluoruro de carbono ( $\text{CF}_4$ ) o tetracloruro de carbono ( $\text{CCl}_4$ ), para mantener una buena selectividad de la capa de grabado. Se coloca una oblea en una cámara con atmósfera de un compuesto gaseoso químicamente reactivo a baja presión, en torno a 0,1 torr ( $1,3 \times 10^{-4}$  atmósferas). Una descarga eléctrica crea un plasma de “radicales libres” (iones) reactivos con energía de algunos centenares de electrovoltios. Los iones inciden verticalmente sobre la superficie de la oblea, donde reaccionan para formar sustancias volátiles que se eliminan mediante un sistema de vacío a baja presión en serie.

**Hardware.** Conjunto interconectado de componentes que realizan funciones analógicas o digitales.

**Hidrodinámica.** Parte de la mecánica que estudia el movimiento de los fluidos y las fuerzas que actúan sobre los sólidos inmersos en los fluidos y en movimiento relativo al suyo.

**Informática.** Tecnología relativa al diseño, fabricación y utilización de computadoras.

**Interfaz.** Frontera común entre dos sistemas asociados. En informática es la tarjeta, conector u otro dispositivo que conecta elementos de hardware con la computadora, de modo que la información pueda ser transferida de un punto a otro. O el software que

permite a un programa interactuar con el usuario, con otro programa como el sistema operativo, o con el hardware de la computadora.

**Interruptor.** Dispositivo de accionamiento manual, mecánico, electromecánico o electrónico destinado a abrir o cerrar el paso de corriente en un conductor eléctrico.

**Interruptor de red.** Interruptor que conecta o desconecta un receptor u otro equipo, a menudo combinado con el control de volumen en los receptores de radio y televisión.

**In vitro.** Experimentación con organismos, o parte de los mismos, en ambiente artificial estéril.

**Inyección.** Introducción a presión de un líquido o material de gran plasticidad en las cavidades de otro.

**Lab-on-chip.** Es un término para dispositivos que integran funciones de laboratorio en un *chip* de no más de pocos milímetros a centímetros cuadrados de tamaño y son capaces de manejar fluidos de volúmenes a escala de pico (millonésima parte de un microlitro).

**Lenguaje de programación.** Lenguaje formal para escribir programas para un computador, que ofrece un conjunto de caracteres, símbolos, representaciones y reglas que permiten introducir y tratar la información en un computador.

**LIGA (Lithographie Galvanoförmung Abförmung).** Técnica de fabricación de microestructuras de alta relación de aspecto mediante radiación sincrotrón. Puede ser usado para crear partes o moldes a partir de materiales electrodepositados o utilizar los moldes para inyectar plástico.

**Litografía.** La litografía es un proceso fotográfico que imprime patrones sobre capas de polímeros fotosensitivos (fotorresist) que son usadas subsecuentemente como máscaras protectoras cuando se lleva a cabo el ataque. La litografía consta de los siguientes pasos: 1) Aplicación de fotorresist el cual es una emulsión fotosensitiva; 2) Exposición óptica para imprimir la imagen de la máscara en el fotorresist; 3) Inmersión dentro de una solución acuosa reveladora para disolver el fotorresist expuesto y hacer visible la imagen deseada (según el fotorresist, positivo o negativo). La máscara consiste en un patrón formado por una capa opaca de cromo sobre un sustrato de vidrio transparente. El diseño del patrón se hace con una herramienta de diseño asistido por computadora (CAD) y posteriormente se transfiere a una capa delgada de cromo. Un proceso de microfabricación completo involucra repetir varias veces la secuencia de pasos anterior.

**Litografía por haz de electrones.** Técnica de transferencia de estructuras a un sustrato usando un haz de electrones para grabar una resina.

**Litografía suave.** Es una técnica no fotolitográfica, que reúne una serie de métodos para fabricar o replicar microestructuras a partir de sellos, moldes y fotomáscaras. Entre los métodos que más se han utilizado en el campo de la microfluídica están el *contac printing* y el *capillary molding*.

**Magnetómetro.** Dispositivos que sirven para cuantificar la fuerza y dirección de la señal magnética de una muestra, empleados en diversas investigaciones, desde espaciales hasta geológicas o médicas. Instrumento para medir la magnitud y, a veces, también la dirección de un campo magnético, por ejemplo, el de la Tierra.

**Máscara fotolitográfica.** Archivo de ordenador o placa de vidrio que contiene el dibujo de las áreas que se expondrán a una etapa determinada del proceso de fabricación, quedando el resto protegido.

**Memoria no volátil.** Elemento de memoria capaz de retener la información en ausencia de tensión, como por ejemplo, la cinta magnética, el tambor magnético o los núcleos magnéticos.

**Memoria RAM (Memoria de acceso aleatorio).** Memoria volátil con tiempo de acceso uniforme (el mismo para cada una de las posiciones de la memoria) que permite tanto lectura como escritura de datos, construida actualmente con semiconductores y que se utiliza fundamentalmente para formar la memoria principal del computador.

**MEMS para fluidos.** son diseñados para interactuar y trabajar con fluidos. Dispositivos como microbombas y microválvulas son creados para manipular pequeños volúmenes de fluido.

**MEMS-RF.** Son una clase de dispositivos usados para transmitir señales de radio frecuencia. Los dispositivos típicos incluyen: interruptores, capacitores, antenas, etc.

**Microarray.** Conjunto de dispositivos lab-on-a-chip dispuestos en una matriz sobre un sustrato sólido, usualmente vidrio o láminas delgadas de silicona. Permite ensayar grandes cantidades de material biológico en las mismas condiciones y simultáneamente, con métodos de evaluación de alto rendimiento high-throughput screening.

**Microchip.** Pastilla pequeña de material semiconductor, de algunos milímetros cuadrados de área, sobre la que se fabrican circuitos electrónicos generalmente mediante fotolitografía y que está protegida dentro de un encapsulado de plástico o cerámica. El encapsulado posee conductores metálicos apropiados para hacer conexión entre la pastilla y un circuito impreso.

**Microcontrolador.** Circuito integrado que contiene un núcleo procesador, memoria y periféricos de entrada/salida programables. O chip procesador de propósito especial diseñado y construido para gestionar una determinada tarea específica, y que está constituido por una unidad central de procesamiento, memoria propia, canales de entrada/salida (puertos) y temporizadores.

**Microfabricación.** Empleo de técnicas de miniaturización, esencialmente litografías, para producir circuitos integrados o sistemas microelectromecánicos (MEMS). Las técnicas empleadas para producir circuitos integrados son principalmente litografías de superficie. Para la fabricación de sistemas microelectromecánicos se usan principalmente variantes de las litografías de superficie llamadas genéricamente micromaquinación de superficie.

**Microfluídica.** Disciplina que estudia cómo cambiar diversos fluidos para configurar entornos diversos de experimentación y medida.

**Micromaquinado en bloques.** Son procesos en los que se graban, esculpen o excavan los sustratos de silicio, vidrio u otros materiales en forma selectiva para formar microestructuras de mayor profundidad. Se aplica en estructuras mayores de 10 micrometros.

**Micromaquinado superficial.** Se generan microestructuras por medio de ciclos de depósito y remoción de capas delgadas sobre un sustrato.

**Microprocesador.** Dispositivo formado por gran número de transistores integrados en un chip, que desempeña alguna función en los computadores electrónicos digitales. O circuito integrado programable de uso general que incorpora las funciones de una unidad de control de proceso de un computador.

**Microscopio de efecto túnel.** Máquina capaz de revelar la estructura atómica de las partículas. Las técnicas aplicadas se conocen también como "de barrido de túnel" y están asociadas a la mecánica cuántica. Se basan en la capacidad de atrapar a los electrones que escapan en ese efecto túnel, para lograr una imagen de la estructura atómica de la materia con una alta resolución, en la que cada átomo se puede distinguir uno de otro. Una vez llevado el proceso en el microscopio, escaneando la superficie del objeto y haciendo un mapa de la distancia entre varios puntos, se genera una imagen en tres dimensiones. Los microscopios de efecto túnel también han sido utilizados para producir cambios en la composición molecular de las sustancias. Es un instrumento fundamental en el campo de la nanotecnología y la nanociencia.

**Microscopio de fuerza atómica.** Microscopio de altísima resolución, fracciones de nanómetro, con el que se obtienen imágenes de la topografía de superficies a partir de las fuerzas entre la sonda de exploración y la superficie explorada.

**Microsensor.** Dispositivo o instrumento de tamaño relativamente pequeño, que tienen el objetivo de medir alguna variable dentro del sistema en el cual se encuentra; envía una señal eléctrica a un dispositivo que se encargará después de caracterizar dicha señal en una magnitud entendible para el operario. Así, existen sensores que envían señales de posición, de velocidad, de nivel de temperatura, etc.

**MOEMS (Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems).** Son dispositivos diseñados para dirigir, reflejar, filtrar, y/o amplificar la luz. Estos componentes incluyen interruptores ópticos y reflectores.

**Molde por inyección.** Proceso utilizado para el conformado de materiales poliméricos. El polímero, calentado hasta un estado altamente plástico, se introduce a presión en la cavidad de un molde donde solidifica.

**Motor de combustión.** Motor capaz de transformar en movimiento la energía proveniente de la combustión de sustancias adecuadas, denominadas combustibles.

**MP3.** Tecnología estándar para comprimir una secuencia de sonido en un archivo más reducido, alrededor de un doceavo del tamaño del archivo original, preservando el nivel original de calidad del sonido cuando se reproduce.

**Nanorobótica.** Es el estudio de la robótica en la escala nanométrica e incluye robots que tienen algunos componentes con tamaño menor a una micrómetro o presentan capacidad de manipulación de objetos con resolución nanométrica.

**Nanotecnología.** Es la investigación y desarrollo tecnológico a escala atómica, molecular o macromolecular, en la gama de 1 a 100 nanómetros, para proporcionar un entendimiento fundamental de materiales y fenómenos nanométricos y, la creación y uso de sus estructuras, recursos y sistemas que ofrecen nuevas propiedades y funciones debido a su tamaño pequeño y/o mediano.

**Nanotubos de carbono.** Tipo de fullereno de estructura alargada, en nanoestructuras grafiticas de interés por sus aplicaciones, p.ej. electrónicamente se puede comportar como conductor, semiconductor o aislante, y se pueden emplear en materiales compuestos, o bien encapsulando metales en su interior obtener nanocables eléctricos o magnéticos o utilizar para el almacenamiento de hidrógeno.

**Newton.** Unidad de fuerza en el sistema metro-kilogramo-segundo, equivalente a la fuerza que produce una aceleración de 1 metro/segundo en el prototipo internacional de kilogramo-masa.

**Oblea.** Sustrato semiconductor en forma de disco fino en el que se fabrican los diversos componentes dispositivos y circuitos microelectrónicos.

**Oblea de silicio.** Fina plancha de material semiconductor, como por ejemplo cristal de silicio, sobre la que se construyen microcircuitos mediante técnicas de dopado (por ejemplo, difusión o implantación de iones), grabado químico y deposición de varios materiales.

**Optoelectrónica.** Rama de la tecnología que trata de los sistemas con componentes ópticos y electrónicos, cuyo funcionamiento está directamente relacionado con la luz, y entre los que cabe destacar los sistemas de visión nocturna, de termovisión o láseres.

**Oscilador.** Circuito electrónico que genera una señal periódica, a menudo sinusoidal o rectangular.

**PDA.** Agenda electrónica personal caracterizada por sus elevadas prestaciones en memoria, autonomía y reducido tamaño.

**Película. En industrias gráficas,** material plástico, tal como acetato de celulosa o nitrato de celulosa, con una capa de emulsión sensible a la luz, utilizada para hacer negativos o transparencias en radiografía o fotografía.

**Plegado.** Conformación de una pieza metálica, mediante presión, en una forma curvada o angular, o alargamiento o embutición de la misma a lo largo de una trayectoria curvada.

**Polímero.** Sustancia natural o sintética constituida por moléculas de elevado peso molecular, resultante de la unión de moléculas sencillas, con propiedades específicas.

**Radar.** Sistema que utiliza energía de radiofrecuencia en haces y reflejada, para detectar y localizar objetos, medir distancias o alturas, navegación, autoguiado, bombardeo y otros fines; al detectar y marcar el alcance, el intervalo de tiempo entre la transmisión de la energía y la recepción de la energía reflejada establece la distancia de un objeto en la trayectoria del haz.

**Radiofrecuencia.** Designa genéricamente las señales radio de alta frecuencia presentes en los sistemas o en el espacio.

**Reacción química.** Cambio en el que una sustancia o sustancias, se transforma en una o más nuevas sustancias químicas.

**Reactancia.** Componente que se opone a los cambios temporales de corriente (inductancia) o de tensión (capacidad).

**Rendimiento.** Medida del punto hasta el cual puede esperarse que un sistema cumpla un conjunto de exigencias específicas de una misión, expresada en función de la utilidad, fiabilidad e idoneidad.

**Resonancia.** Fenómeno que se produce en un circuito en el que existen elementos inductivos y capacitivos, cuando es recorrido por una corriente alterna de una frecuencia tal, que hace que la reactancia se anule.

**Robot.** Manipulador multifuncional reprogramable diseñado para mover materiales, componentes, herramientas o dispositivos especializados mediante una serie de movimientos variables programados para la realización de distintas tareas.

**Router.** Dispositivo o mecanismo que permite direccionar la información o comunicaciones entre distintos sistemas de información o aplicaciones.

**RIE (Reactive-ion etching).** En el grabado iónico reactivo, la superficie es erosionada con un gas plasmágeno químicamente reactivo, logrando potenciar la estructura superficial a nivel microscópico. En el proceso se retira parte del sustrato superficial siguiendo un patrón establecido, el área superficial aumenta y se incrementan las propiedades de humectación. El ataque químico se utiliza antes de pintar, pegar o imprimir y es especialmente útil en la fabricación de POM y PTFE, materiales en los que sin este tratamiento previo es casi imposible pintarlos o pegarlos. El RIE se desarrolló originalmente como consecuencia de la reducción continua de los circuitos integrados. Con el grabado químico húmedo, las estructuras más pequeñas que pueden obtenerse son de tres micrómetros. El RIE combina especies químicamente activas como el XeF<sub>2</sub> y partículas que transmiten energía física (principalmente argón) y le confieren la anisotropía deseable al proceso de grabado. Con el

RIE se pueden crear estructuras de orden nanométrico. El RIE es capaz de tratar hasta 25 piezas a la vez. El *RIE* es un proceso sumamente versátil, pero en el que deben controlarse y ajustarse muchos parámetros. Se utiliza en la fabricación de circuitos integrados, tecnología dental, tecnología de sensores y tecnología médica.

**Semiconductor.** Dispositivo con funcionalidad electrónica o fotónica fabricado con materiales semiconductores. Los semiconductores son sustancias aislantes, como el germanio y el silicio, que se transforman en conductores por la adición de determinadas impurezas. Se usan en la fabricación de transistores, chips y derivados.

**Sensor.** Dispositivo sensible a una determinada magnitud física ambiental y capaz de transformarla en una señal, generalmente eléctrica, destinado a medida, grabación o control. O dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

**Sensor de presión.** Dispositivo capaz de detectar valores de presión transformándolos en variable eléctrica.

**Sensor giroscópico.** Dispositivo capaz de detectar valores de la orientación mediante un giróscopo y transformarlos en variable eléctrica.

**Señal.** Fenómeno físico, una o más de cuyas características varían para representar información.

**Simulación numérica.** Modelo matemático, formado por un sistema dinámico, que programado en un computador, permite generar las trayectorias que ilustran el comportamiento el sistema modelado.

**Sinterizado selectiva por láser.** Es una técnica de prototipado rápido que fabrica las piezas por capas. El material de base es un polvo cuyas partículas miden casi 50  $\mu\text{m}$ . En el caso del sinterizado se utilizan polvos de diferentes materiales. Un láser sinteriza las áreas seleccionadas causando que las partículas se fusionen y solidifiquen. El modo de generación de las piezas es similar a la Estereolitografía, en el que los elementos son generados de capa en capa, iniciando el proceso por las cotas más bajas y terminados por las superiores.

**Sintonizador.** Dispositivo de ajuste del sistema para obtener de manera óptima la señal electromagnética.

**Software.** Programa o conjunto de programas que constituyen la parte lógica de un sistema informático, que permite el desarrollo de procedimientos automáticos y rutinas de procesamiento de datos con el objetivo de realizar aplicaciones informáticas.

**Sputtering.** Conjunto de técnicas de bombardeo de la superficie de un blanco que queremos evaporar con iones de gas muy energéticos, para que estos pulvericen y arranquen algunos de sus átomos para después depositarlos sobre un substrato formando láminas delgadas o recubrimientos, p.ej. para fabricar células fotovoltaicas.

**Tableta.** Equipo completo contenido en una pantalla táctil que puede ser especializado únicamente para el uso de internet, como un PC de propósito general, o como un terminal de comunicaciones móviles con toda la funcionalidad general de una unidad de sobremesa; la característica distintiva es el uso de la pantalla como un dispositivo de entrada utilizando un lápiz o el dedo.

**TAC (Tomografía Axial Computarizada).** Técnica de imagen médica que utiliza radiación X para obtener cortes o secciones de objetos anatómicos con fines de diagnóstico.

**Temporizador.** Interruptor controlado por un reloj, utilizado para abrir o cerrar un circuito en uno o más momentos determinados de antemano.

**TPMC (Tire-Pressure Monitoring System).** **O** control de presión de los neumáticos. Básicamente existen **dos tipos de sistemas** de control de presión de las ruedas. Los más avanzados son los **sistemas activos**, que se sirven de **un sensor por cada rueda** que normalmente va integrado con la válvula. Este sensor controla que la presión no descienda de un valor previamente memorizado. En caso de pérdida de presión, el módulo en el que va el sensor, que cuenta con un emisor y su propia batería, transmite una señal vía ondas de radio a una centralita, y el conductor recibe una **alerta en el cuadro de instrumentos**. Otros sistemas cada vez más frecuentes son los **sistemas pasivos**. En este caso se utilizan los sensores comunes de los **sistemas antibloqueo de frenos ABS** y control de estabilidad ESP, por lo que no es necesaria una instalación adicional. En caso de una pérdida de presión, el diámetro de la rueda disminuye, por lo que esa rueda pasa a girar más rápido que el resto. El sistema lo detecta al comparar las velocidades de las ruedas y avisa al conductor.

**Transducción.** Transformación de un tipo de señal o energía en otra de distinta naturaleza, partiendo de información de entornos físicos y químicos y transformándola en señales o impulsos eléctricos, o viceversa.

**Transductor.** Dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, proveniente generalmente de un biosensor, en otra, generalmente electrónica, que es posible visualizar, almacenar y procesar fácilmente.

**Transistor.** Dispositivo semiconductor de tres terminales en los que la corriente del circuito de salida se controla mediante una corriente o una tensión de entrada.

**Transistor complementario.** Dos transistores son complementarios cuando uno de ellos es npn y el otro pnp en el caso de transistores bipolares y cuando uno es de canal n y otro de canal p en transistores de efecto de campo.

**Troquelado.** Operación mecánica que se utiliza para realizar agujeros en chapas de metal, láminas de plástico, papel o cartón. Para realizar esta tarea, se utilizan desde simples mecanismos de accionamiento manual hasta sofisticadas prensas mecánicas de gran potencia.

**Turbina.** Máquina que convierte en energía mecánica la de un fluido por el movimiento giratorio que este imprime a una o más ruedas o paletas del rotor.

**Uillaje.** Mecanismo para posicionar y sujetar las piezas que deben ser mecanizadas y para guiar la herramienta de corte.

**Web.** Red mundial de distribución y recuperación de información en hipertexto a través de internet en la que hay nodos que almacenan y distribuyen información a los que se denominan servidores de web y usuarios que se conectan a la red para localizar información de su interés utilizando motores de búsqueda y consultarla a través un navegador de hipertextos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Academia Mexicana de de Ingeniería, de A.C. <http://www.ai.org.mx/>-ADIAT (Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y el Desarrollo Tecnológico) [En línea]. <http://www.adiat.org/es/columna.aspx?id=1>
- Adams, Jonathan; Pendlebury, David y Stembridge, Bob. Global Research Report: Building BRICKs. Exploring the global research and innovation impact of Brazil, Russia, India, China and South Korea. Thomson Reuters, February 2013 [En línea]. <http://sciencewatch.com/sites/sw/files/sw-article/media/grr-brick.pdf>
- Aguilar Morales, Mario. 2001. La industria electrónica de la zona metropolitana de Guadalajara: un distrito industrial? (Economía regional). <http://www.allbusiness.com/professional-scientific/accounting-tax/839216-1.html>
- Alton, Bruce. 2007. The Global MEMS Supply Chain: A Foundry's Perspective. En MicroNano News June 2007 [En línea]. [http://www.micralyne.com/news/inthenews/2007/OnBoard\\_Feb07.pdf](http://www.micralyne.com/news/inthenews/2007/OnBoard_Feb07.pdf)
- Andrews, Peter. 2006. Frugal Innovation: No just for tough times. Instituto de Ingeniería del Conocimiento [En línea]. <http://blog.iic.uam.es/2011/01/frugal-innovation-not-just-for-tough-times/> [Consulta: 4/03/2012]
- Antón, Philip S; Silberglitt, Richard y Schneider James. 2001. The Global Technology Revolution. Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with Information Technology by 2015. Prepared for the National Intelligence Council. RAND – National Defense Research Institute [En línea]. [http://www.rand.org/pubs/monograph\\_reports/MR1307/MR1307.pdf](http://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1307/MR1307.pdf)
- Appelbaum Richard, Parker Rachel, Cao Cong y Gereffi Gary. 2011. China's (Not So Hidden) Developmental State: Becoming a Leading Nanotechnology Innovator in the Twenty first Century. En State of Innovation: The U.S. Government's Role in Technology Development. Editores Block, F., & Keller M. R [En línea]. [http://www.cggc.duke.edu/pdfs/Nanotech\\_Presentations/China\\_not-so-hidden\\_developmental\\_state\\_published.pdf](http://www.cggc.duke.edu/pdfs/Nanotech_Presentations/China_not-so-hidden_developmental_state_published.pdf)
- Aquino Rodríguez, Carlos. 2000. Introducción a la Economía Asiática. Coedición, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Económicas y AUKI E.I.R.L., [En línea]. <http://economia.unmsm.edu.pe/Servicios/Publicaciones/Libros/Libro2.htm>
- Arizmendi López, Luis.2010. Hablando sobre Fotónica. En La Física Hoy, UAM Facultad de Ciencias [En línea]. [http://www.fisicahoy.com/la\\_fisica\\_hoy/fotonica](http://www.fisicahoy.com/la_fisica_hoy/fotonica) [Consulta: 23/04/2011]

-Asian Technology Information Program (ATIP): MEMS Research and Commercialization in China. Reporte 17 March 2010 [En línea]. <http://atip.org/atip-publications/atip-reports/2010/7867-atip10-005-mems-research--commercialization-in-china.html>

-Baldwin, Rubin y Gerami. Fabricación de semiconductores de silicio. En ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD DEL TRABAJO. Tercera Edición en español, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, 1998-Volumen 3 [En línea]. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/83.pdf> [Consulta: 13/19/2913]

-Ballhaus, Werner; Pagella, Alessandro; Vogel, Constantin y Wilmsmeier, Christoph. 2012. Faster, greener, smarter – reaching beyond the horizon in the world of semiconductors. Publicado por PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft [En línea]. [http://www.pwc.com/en\\_GX/gx/technology/publications/assets/semiconductor-industry-analysis-and-projections.pdf](http://www.pwc.com/en_GX/gx/technology/publications/assets/semiconductor-industry-analysis-and-projections.pdf)

-Baltazar, Elia. 2011. El otro negocio de FEMSA. En CNNEXPANSIÓN-Empresas, 21 de noviembre de 2011 [En línea]. <http://www.cnnexpansion.com/expansion/2012/01/30/el-otro-negocio-de-femsa> [Consulta: 12/09/2013]

-Barajas, Oswaldo. 2009/a. Canieti rechaza eliminar estímulo fiscal en I+D. En ElectronicosOnline.com Magazine, 22 Septiembre 2009. [En línea] [http://electronicosonline.com/noticias/notas.php?id=P5182\\_0\\_1\\_0\\_C](http://electronicosonline.com/noticias/notas.php?id=P5182_0_1_0_C) [Consulta:4/09/2010]

-Barajas, Oswaldo. 2009/b. Impulsaran tecnologías FPGAs en México. En ElectronicosOnline.com Magazine, 10 Noviembre 2009 [En línea]. [http://electronicosonline.com/noticias/notas.php?id=A5215\\_0\\_1\\_0\\_C&page=7798](http://electronicosonline.com/noticias/notas.php?id=A5215_0_1_0_C&page=7798) [Consulta: 14/12/2010]

-Barak, Sylvie. 2012. MEMS in sport gains speed. EE|Times News&Analysis [En línea]. <http://www.eetimes.com/electronics-news/4370377/MEMS-in-sport-gains-speed> [Consulta: 10/02/2013]

-Bauer, Peter, 2009. Guest article in A change of pace for the semiconductor industry?, Ballhause Werner; Pagella Alessandro y Vogel Constantin [En línea]. [http://maltiel-consulting.com/Semiconductor\\_Industry\\_After\\_Economic\\_Upheaval\\_maltiel\\_semiconductor.pdf](http://maltiel-consulting.com/Semiconductor_Industry_After_Economic_Upheaval_maltiel_semiconductor.pdf)

-Beck, Ulrich. 1998. ¿Qué es la globalización ? Falacias del globalismo, respuestas a la globalización. Ediciones Paidós Ibérica, S.A..

-Bhatti, Yasser y Ventresca, Marc. 2012. The Emerging Market for Frugal Innovation: Fad, Fashion, or Fit? En Social Science Research Network, January 15, 2012 [En línea]. [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2005983](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2005983)

-Bianco, Carlos y Porta, Fernando. 2003. Los límites de la balanza de pagos tecnológica para medir la transferencia de la tecnología en los países en desarrollo. En El Estado de la

Ciencia 2003. Centro de Estudios sobre Ciencia, Desarrollo y Educación Superior (REDES), Argentina [En línea]. [http://www.riicyt.org/biblioteca-sp-1864514149/doc\\_view/133-los-limites-de-la-balanza-de-pagos-tecnologica-para-medir-la-transferencia-de-tecnologia-en-los-paises-en-desarrollo](http://www.riicyt.org/biblioteca-sp-1864514149/doc_view/133-los-limites-de-la-balanza-de-pagos-tecnologica-para-medir-la-transferencia-de-tecnologia-en-los-paises-en-desarrollo)

-Biochips, Biotecnología, Bioinformática, Procesadores con ADN, Inteligencia Artificial En Grupo Alianza Empresarial web [En línea]. <http://www.grupoalianzaempresarial.com/biotecnologia.htm>

-Bischof Christian, Boger T., Gunasekaran N. 2012. Advanced Particulate Filter Technologies for Direct Injection Gasoline Engine Applications”. DEER Conference, October 16-19, 2012 [En línea]. [http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/deer\\_2012/wednesday/presentations/deer12\\_bischof.pdf](http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/deer_2012/wednesday/presentations/deer12_bischof.pdf)

-BLA MEMS Industry, Report 2010. MEMS Technology 2na. Edition. Boucher-Lensch Associates [En línea]. [http://www.boucherlensch.com/bla/IMG/pdf/BLA\\_MEMS\\_Q4\\_010.pdf](http://www.boucherlensch.com/bla/IMG/pdf/BLA_MEMS_Q4_010.pdf)

-Borboa Acosta, MA. Eugenio y Rivera Nieblas, Jorge Oswaldo. 2010. ¿Qué es un MEMS?. Instituto Tecnológico de Hermosillo, Ingeniería Mecatrónica [En línea]. [http://www.mecatronica.ith.mx/Publicacion\\_MEMS.pdf](http://www.mecatronica.ith.mx/Publicacion_MEMS.pdf)

-Bouchaud, Jérémie. 2009. iSuppli: 2009-The Hockey-Stick Year for MEMS. MEMS Industry Group, MEMSBlog [En línea]. <http://memsblog.wordpress.com/2010/02/02/isuppli-2009%E2%80%94the-hockey-stick-year-for-mems/> [Consulta:2/02/2013]

-Bouchaud, Jérémie. 2010. MEMS Market Rebounds in 2010 Following Two-Year Decline. IHS iSuppli, Market Watch [En línea]. <http://www.isuppli.com/MEMS-and-Sensors/MarketWatch/Pages/MEMS-Market-Rebounds-in-2010-Following-Two-Year-Decline.aspx> [Consulta: 16/02/2013]

-Bouchaud, Jérémie. 2011/a. Optical MEMS Market Lights Up with Nearly 25 Percent Growth in 2011. En IHS iSuppli, Headlines-September 13, 2011 [En línea]. <http://www.isuppli.com/MEMS-and-Sensors/MarketWatch/Pages/Optical-MEMS-Market-Lights-Up-with-Nearly-25-Percent-Growth-in-2011.aspx> [Consulta: 15/02/2013]

-Bouchaud, Jérémie. 2011/b. Global MEMS Industry Is Relatively Unaffected from Japan Quake Aftermath. En IHS iSuppli, Headlines-May 4, 2011 [En línea]. <http://www.isuppli.com/mems-and-sensors/news/pages/global-mems-industry-is-relatively-unaffected-from-japan-quake-aftermath.aspx> [Consulta: 23/03/2013]

-Bouchaud, Jérémie. 2011/c. Fabless Firms Expand Activity, Claim 23 Percent of MEMS Value in 2010. En IHS iSuppli, Headlines-June 20, 2011 [En línea]. <http://www.isuppli.com/mems-and-sensors/marketwatch/pages/fabless-firms-expand-activity-claim-23-percent-of-mems-value-in-2010.aspx> [Consulta: 14/03/2013]

<http://www.isuppli.com/MEMS-and-Sensors/News/Pages/DLP-Revival>Returns-Texas-Instruments-to-MEMS-Market-Leadership-in-2010.aspx> [Consulta: 22/10/2012]

-Bouchaud, Jérémie. 2011/d. DLP Revival Returns Texas Instruments to MEMS Market Leadership in 2010. En IHS iSuppli, Headlines-April 5, 2011 [En línea]. <http://press.ihs.com/press-release/product-design-supply-chain/dlp-revival-returns-texas-instruments-mems-market-leadersh>

-Bouchaud, Jérémie. 2011/e. Pressure Sensors will be Top MEMS Device in 2014. En IHS iSuppli-MEMS Market Brief /volume 4, Issue 9 [En línea]. <http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=pressure%20sensors%20will%20be%20top%20mems%20device%20in%202014%20de%20bouchaud&source=web&cd=1&ved=0CDgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.polight.com%2Fbo%2Factualite%2Ftel.php%3FFIC%3DIHSiSuppliMEMSMarketBriefSeptember2011.pdf&ei=1XsAUtP7O8SbygHh0YGgCA&usg=AFQjCNEYebUsrEmrj6qLJZ6vkqe7d1CvUg&bvm=bv.50310824,d.aWc>

-Bouchaud, Jérémie y Dixon, Richard. 2011. Consumer MEMS Market Again Proves Itself Immune to Economic Turmoil. En IHS iSuppli, MEMS Market Brief/Volume 4-Issue 7 [En línea]. <http://www.polight.com/news/actualite.php?IDA=17&IDL=&ARCH=1>

-Bouchaud, Jérémie. 2012. The MEMS revolution: from billions to trillions, IHS iSuppli. En MEMPTec MEMS Symposium, May 2012 [En línea]. <http://mepotec.org/Resources/06%20-%20iSuppli.pdf>

-Bouchaud, Jérémie. 2013/a. Consumer Electronics is Still the Rich Lode for MEMS and Sensors. En IHS iSuppli, Market Insight-15 April, 2013 [En línea]. <http://www.isuppli.com/Home-and-Consumer-Electronics/MarketWatch/Pages/Consumer-Electronics-is-Still-the-Rich-Lode-for-MEMS-and-Sensors.aspx> [Consulta: 23/02/2013]

-Bouchaud, Jérémie. 2013/b. It's a Tie: Bosch and STM Hold Joint Honors as No. 1 MEMS Suppliers for 2012. En IHS iSuppli, Headlines-June 20, 2013 [En línea]. <http://www.isuppli.com/MEMS-and-Sensors/News/Pages/It's-a-Tie-Bosch-and-STM-Hold-Joint-Honors-as-No-1-MEMS-Suppliers-for-2012.aspx> [Consulta: 22/04/2013]

-Bouchaud, Jérémie. 2013/c. MEMS Supplier Ride Apple's Gravy Train to the Top of the Microphone Business. En IHS iSuppli, Headlines-May 1, 2013 [En línea]. <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> [Consulta: 9/09/2013]

-Bryzek, Janusz. 2012. Roadmap to a \$Trillion MEMS Market. En MEPTEC Report, Vol. 16-no.1 [En línea]. [http://issuu.com/mepcom/docs/mepotec\\_report\\_spring\\_2012](http://issuu.com/mepcom/docs/mepotec_report_spring_2012)

-Bryzek, Janusz y Roundy, Shad. 2012. MEMS Testing: Transition from Millions to Billions to Trillions. En Chip Scale Review, Vol. 16-no.5 [En línea]. [http://www.chipsalereview.com/issues/0912/content/CSR\\_September-October-2012\\_digital.pdf](http://www.chipsalereview.com/issues/0912/content/CSR_September-October-2012_digital.pdf) [Consulta: 3/02/2013]

-Burgess, Priscilla. Frugal Innovation. En Sustainable Industries-December 22, 2011[En línea]. <http://www.sustainableindustries.com/articles/2011/12/frugal-innovation?page=2>

-Business Dictionary.com [En línea]. <http://www.businessdictionary.com/terms-by-letter.php?letter=R>

-Business Wire. Second Sight Medical Products Receives FDA Approval for Argus II System. En Business Wire; February 14, 2013 [En línea]. <http://www.businesswire.com/news/home/20130214006081/en/Sight-Medical-Products-Receives-FDA-Approval-Argus> [Consulta: 23/04/2013]

-CADELEC (Cadena Productiva de la Electrónica, A.C.) [En línea]. <http://www.cadelec.com.mx/desarrollo.html>

-Cajaraville, Miren P. Concepto de Biomarcador. Utilidad de los biomarcadores celulares en Programas de Seguimiento Ambiental. En Module 3 A. Pollution in the Environment: Detection, Evaluation and Restoration [En línea]. <http://www.ehu.es/europeanclass2003/miren1.pdf>

-Calva, José Luis (Compilador). 2007. Educación, ciencia, tecnología y competitividad. Agenda del Desarrollo vol. 10. UNAM y La H. Cámara de Diputados LX Legislatura.

-Camacho León, Sergio y Losoya Leal Adrián. 2013. Áreas de aplicación; Sector Automotriz. En Introducción a la Simulación de Sistemas Microelectromecánicos y Microfluídicos. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Editorial DIGITAL Tecnológico de Monterrey [En línea]. [https://www.editorialdigitaltec.com/materialadicional/ID326\\_CamachoyLeal\\_Introduccionalasilacion.cap1.pdf](https://www.editorialdigitaltec.com/materialadicional/ID326_CamachoyLeal_Introduccionalasilacion.cap1.pdf)

-Carletti, Eduardo J. 2002. La nanotecnología: un rápido panorama. En TECO NÚCLEO web [En línea]. <http://axxon.com.ar/rev/110/c-110Nanotecnologia.htm>

-Casas, Rosalba y Dettmer, Jorge A. 2007 Construyendo un paradigma de política científica tecnológica para México. En Calva, José Luis (coordinador), 2007. Educación, ciencia, tecnología y competitividad. Agenda para el desarrollo. Vol., 10; Ed. Porrúa.

-Castells, Manuel. 2006. La Era de la Información. La Sociedad Red, Vol. 1. Editorial Siglo XXI.

-CEPAL. Panorama de la inserción internacional de América Latina y el Caribe 2008-2009. Crisis y espacios de la cooperación internacional [En línea]. <http://www.eclac.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/6/36906/P36906.xml&xsl=/comercio/tpl/p9f.xsl&base=/comercio/tpl/top-bottom.xsl>

-Chengyu Jiang, Yang He y Weizheng Yuan; 2006. MEMS R&D Trends. Materials Science Forum-MATER SCI FORUM I [En línea]. [http://www.researchgate.net/publication/240835596\\_MEMS\\_RD\\_Trends](http://www.researchgate.net/publication/240835596_MEMS_RD_Trends)

-China IPR SME Helpdesk, Technology Transfer to China-Guidance for Businesses [En línea]. [http://www.china-iprhelpdesk.eu/docs/publications/ES\\_Technology\\_Transfer\\_Nov\\_2008.pdf](http://www.china-iprhelpdesk.eu/docs/publications/ES_Technology_Transfer_Nov_2008.pdf)

-Chinability. Latest news and statistics on China's economy and business climate [En línea]. <http://www.chinability.com/>

-Christensen, Clayton website [En línea]. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:eRzbsZAYgqwJ:www.claytonchristensen.com/+clayton+christensen+website&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=mx>

-Christensen, Clayton M. 1997. The Innovator's Dilemma. When New Technologies Cause Great Firms to Fail. Harvard Business School Press Boston, Massachusetts [En línea]. <http://web-profile.com.ua/wp-content/uploads/clayton-christensen-innovators-dilemma.pdf>

-Clarke, Peter. Hanking starts building Chinese MEMS wafer fab. En EE|Times, Connecting the Global Electronics Community-Mayo 4, 2012 [En línea]. [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1261679](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1261679) [Consulta:02/02/2013]

-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) [En línea]. <http://www.conacyt.mx/Paginas/default.aspx>

-CONACYT, Indicadores de Actividades Científicas y Tecnológicas 1990-1999. Anexos Cuadros Estadísticos [En línea]. [http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/docs/contenido/Anexo\\_e.pdf](http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/docs/contenido/Anexo_e.pdf)

-CONACYT, Informe General del Estado de la Ciencia y Tecnología 2010 [En línea]. [http://www.conacyt.gob.mx/transparencia/Documents/Informe\\_General\\_del\\_Estado\\_de\\_la\\_Ciencia\\_y\\_la\\_Tecnologia\\_2010.pdf](http://www.conacyt.gob.mx/transparencia/Documents/Informe_General_del_Estado_de_la_Ciencia_y_la_Tecnologia_2010.pdf)

-CONACYT Indicadores de Ciencia y Tecnología [En línea]. <http://www.conacyt.gob.mx/siicyt/index.php/indicadores-cientificos-y-tecnologicos>

-CONACYT. Informe General del Estado de la Ciencia y la Tecnología 2002-2011 [En línea]. <http://www.conacyt.gob.mx/siicyt/index.php/estadisticas/publicaciones/informe-general-del-estado-de-la-ciencia-y-tecnologia-2002-2011/informe-general-del-estado-de-la-ciencia-y-la-tecnologia-2002-2011-b>

-Coombe, Brian. 2006. A Survey of Mems-Enabled Optical Devices – Applications and Drivers for Deployment. En International Engineering Consortium [En línea]. [http://www.iec.org/newsletter/jan06\\_2/broadband\\_1.html](http://www.iec.org/newsletter/jan06_2/broadband_1.html) [Consulta: 10/02/2013]

-Corona, Leonel, (Coordinador). 1997. Cien empresas innovadoras en México. UNAM.

-Corona Treviño, Leonel; 2001. “Innovación Y Región. Empresas innovadoras en los corredores industriales de Querétaro y Bajío”. Serie Multidisciplinaria-Universidad Autónoma de Querétaro.

-Corona Treviño Leonel, 2005. “México: El reto de crear ambientes Regionales de Innovación”. CIDE y FCE.

-Corona Treviño, Leonel y Paunero Amigo, Xavier (Coordinadores); 2005. “Sistemas Productivos Locales en México. Tipología desde la Perspectiva Europea”. Documenta Universitaria.

-Corona Treviño, Leonel. 2007. Competitividad e innovación: un binomio selectivo. En Calva, José Luis (coordinador), 2007. En Educación, ciencia, tecnología y competitividad. Agenda para el Desarrollo. Vol. 10; Ed. Porrúa.

-Cox, Simon. China Trades up. En The Economist, January 13, 2014 [En línea]. <http://www.economist.com/blogs/graphicdetail/2014/01/daily-chart-6>

-Dabat, Alejandro; Rivera, Miguel Ángel y Sztulwark, Sebastian. 2007. Rentas económicas y aprendizaje en el marco de la globalización. Implicancias para el desarrollo de América Latina. Universidad Nacional de General Sarmiento-Instituto de Industria [En línea]. <http://www.littec.ungs.edu.ar/pdfespa%F1ol/DT%2006-2007%20Dabat-Rivera-Sztulwark.pdf>

-De la Peña, Héctor. Logros de la UNAM en MEMS. En Investigación y Desarrollo, 31 de Julio de 2008 [En línea]. <http://www.invdes.com.mx/suplemento-mobil/1738-logros-de-la-unam-en-mems> [Consulta: 23/03/2011]

-Dedrick Jason y Kraemer Kenneth L; 2007/a. “Mapping the Value of an Innovation: An Analytical Framework”. Personal Computing Industry Center [En línea]. <http://crito.uci.edu/papers/2007/MappingTheValue.pdf>

-Dedrick Jason y Kraemer Kenneth L; 2007/b. “Organizing Global Knowledge Networks in the Electronics Industry”. Personal Computing Industry Center [En línea]. <http://pcic.merage.uci.edu/papers/2007/OrganizingGlobal.pdf>

-Dedrick Jason y Kraemer Kenneth L; 2007/c. “Capturing Value in a Global Innovation Network: A Comparison of Radical and Incremental Innovation”. Personal Computing Industry Center [En línea]. <http://pcic.merage.uci.edu/papers/2007/CapturingValue.pdf>

-Dedrick Jason, Kraemer Kenneth L y Linden, Greg; 2008. “Who Profits from Innovation in Global Value Chains? A Study of the iPod and notebook PCs”. Industry Studies. Annual Conference, May 1-2, 2008, Boston, MA [En línea]. [http://web.mit.edu/is08/pdf/Dedrick\\_Kraemer\\_Linden.pdf](http://web.mit.edu/is08/pdf/Dedrick_Kraemer_Linden.pdf)

-Dedrick Jason y Kraemer Kenneth L; 2009. Innovation and Job Creation in a Global Economy: The Case of Apple's iPod. Personal Computing Industry Center [En línea]. <http://pcic.merage.uci.edu/papers/2009/InnovationAndJobCreation.pdf>

-Delgado Ramos, Gian Carlo. 2007. Nanotecnología, paradigma tecnológico de vanguardia. Biblioteca virtual, eumed.net [En línea]. <http://www.eumed.net/ce/> [Consulta: 3/04/2011]

-Delgado Ramos, Gian Carlo. 2008. Guerra por lo invisible: Negocio, Implicaciones y Riesgos de la Nanotecnología. UNAM.

- Diario Oficial de la Federación. Ley de Ciencia y Tecnología. Nueva Ley publicada, 5 de junio de 2002 [En línea]. [http://www.cibiogem.gob.mx/Norm\\_leyes/Documents/L\\_CyT.pdf](http://www.cibiogem.gob.mx/Norm_leyes/Documents/L_CyT.pdf)

-Ding, Wenbin. MEMS in China. En MEMS'Trends, Magazine on MEMS Technologies&Markets, Issue no.7-July 2011 [En línea]. <http://d27vj430nutdmd.cloudfront.net/16328/75995/75995.1.pdf>

-Ding, Wenbin. Rapid progress in the chinese MEMS industry, Observations at SEMICON/Electronica China. En MEMS'Trends, Magazine on MEMS Technologies&Markets, Issue no.10-April 2012 [En línea]. [http://www.memsiindustrygroup.org/files/MEMSTrends\\_April2012\\_iMN.pdf](http://www.memsiindustrygroup.org/files/MEMSTrends_April2012_iMN.pdf)

-Ding, Wenbin. MEMS foundries in China. En MEMS'Trends, Magazine on MEMS Technologies&Markets, Issue no.16-October 2013 [En línea]. <http://d27vj430nutdmd.cloudfront.net/16328/181776/42e260a0f0511adb8e6e7278bade56e82f3d2f0.3.pdf>

-Dixon, Richard y Bouchaud, Jérémie. 2007. Prospects for MEMS in the Automotive Industry. En SENSORS&TRANSDUCERS, Volume. 86-Issue 12 [En línea]. <http://www.memsjournal.com/2007/08/prospects-for-m.html#more> [Consulta: 20/02/2013]

-DiPaola, David. 2012. BioMEMS: Navigating the Medical Device FDA Approval Process. En MEMS Jornal [En línea]. <http://www.memsjournal.com/2012/11/biomems-navigating-the-medical-device-fda-approval-process.html> [Consulta: 10/02/2013]

-Dixon, Richard. 2010. Quiet revolution: MEMS thrives on application diversity. En Solid State Technology, December 2, 2010 [En línea]. <http://www.electroiq.com/articles/stm/2010/12/quiet-revolution-.html> [Consulta: 12/04/2013]

-Dixon, Ricard. 2011/a. Automotive MEMS Market Tracker. En IHS iSuppli, Abstract-MEMS&Sensors [En línea]. [http://www.isuppli.com/Abstract/P13557\\_20110808161838.pdf](http://www.isuppli.com/Abstract/P13557_20110808161838.pdf)

-Dixon, Richard. 2011/b. Pressure Sensors will be Top MEMS Device in 2014. En IHS iSuppli, MEMS Market Brief/Volume 4, Issue 9 [En línea]. <http://freedownloadb.com/pdf/mems-market-brief-ihs-isuppli-mems-market-brief-volume-4-issue-9-20966955.html> [Consulta: 12/02/2013]

-Dixon, Richard. 2011/c. China Emerges as World's Fastest-Growing Automotive MEMS Market. En IHS iSuppli, Press Release, 22 de Septiembre de 2011[En línea]. <http://press.ihs.com/press-release/design-supply-chain/china-emerges-worlds-fastest-growing-automotive-mems-market>

-Dixon Richard, 2012/a. MEMS in Military and Aerospace Sectors to See Strong Growth. En IHS iSuppli, Press Release; December 5, 2012 [En línea]. <https://technology.ihs.com/417116/mems-in-military-and-aerospace-sectors-to-see-strong-growth>

-Dixon Richard, 2012/b. Automotive MEMS grew by 16% in 2011, as per a study. En IHS iSuppli, February 5, 2012 [En línea]. <http://www.eeherald.com/section/news/nws201202056.html>

-Dixon Richard, 2012/c. Bosch Retains Lead as No. 1 Automotive MEMS Supplier. En IHS iSuppli, 6 de Junio de 2012 [En línea]. <http://www.isuppli.com/MEMS-and-Sensors/News/Pages/Bosch-Retains-Lead-as-No-1-Automotive-MEMS-Supplier.aspx> [Consulta: 4/05/2013]

-Dixon, 2012/d. Automotive MEMS Market Tracker. En IHS iSuppli-Abstract MEMS&Sensors [En línea]. [http://www.isuppli.com/Abstract/P23394\\_20121120111140.pdf](http://www.isuppli.com/Abstract/P23394_20121120111140.pdf)

-Dixon, Richard. 2012/e. Automotive MEMS to Slow Down, Before Picking Up Again. En IHS iSuppli-Market Watch, December 20, 2012 [En línea]. <http://www.isuppli.com/mems-and-sensors/marketwatch/pages/automotive-mems-to-slow-down-before-picking-up-again.aspx> [Consulta: 01/14/2013]

-Dixon, Richard y Bouchaud Jérémie, 2011/a. 2012 sees automotive sensor market back to healthy growth track. Solid State Technology, 19 de Septiembre de 2011 [En línea]. <http://www.electroiq.com/articles/stm/2011/09/2012-sees-automotive-sensor-market-back-to-healthy-growth-track.html> [Consulta: 4/05/2013]

-Dixon, Richard y Bouchaud, Jérémie, 2011/b. Pressure Sensors will be Top MEMS Device in 201. HIS iSuppli, MEMS Market Brief/Volume4, Issue 9 [En línea]. <http://www.polight.com/news/actualite.php?IDA=25&IDL=0&ARCH=1>

-Doctissimo. Diccionario médico [En línea]. <http://salud.doctissimo.es/diccionario-medico/in-vitro.html> [Consulta:23/01/2013]

- Doe, Paula. 2010. Maturing MEMS Sector Moves towards Common Testing Protocols. En SEMI Emerging Markets-October 5, 2010 [En línea]. [http://www.semi.org/en/IndustrySegments/MEMS/CTR\\_040658](http://www.semi.org/en/IndustrySegments/MEMS/CTR_040658) [Consulta: 02/02/2013]
- Doe, Paula. 2011. Consumer Markets Drive MEMS Scaling and Efforts to Cut Development Time. En SEMI-December 6, 2011 [En línea]. <http://www.semi.org/en/node/39781> [Consulta: 13/04/2013]
- Doe, Paula. 2012/a. Top 30 MEMS companies 2011: Fast growing consumer markets continue to shake up MEMS sector. MEMS Trend, Issue no.10, April 2012; Yole Développement [En línea]. [http://www.i-micronews.com/upload/pdf/IR\\_avril2012.pdf](http://www.i-micronews.com/upload/pdf/IR_avril2012.pdf)
- Doe, Paula, 2012/b. SEMICON West preview: Maturing MEMS sector looks at ways to work together. En Solid State Technology- June 19, 2012 [En línea]. <http://www.electroiq.com/articles/stm/2012/06/semicon-west-preview-maturing-mems-sector-looks-at-ways-to-work-together.html> [Consulta: 24/04/2013]
- Douglas, Marcelle. 2008. Engineers need to move up the design value chain. EE|Times News & Analysis [Online]. <http://mobilehandsetdesignline.com/news/210601135/> [Consulta: 20/05/2009]
- Dussel Peters, Enrique. 1997. La Economía de la Polarización. UNAM
- Dussel Peters, Enrique y Ruíz Durán Clemente; Coordinadores, 1999. Dinámica regional y Competitividad Industrial. UNAM 1999.
- Dussel Peters, Enrique. 2002. La competitividad del sector manufacturero a mediados de 2002, ¿cambios con la nueva administración política?. <http://dusselpeters.com/16.pdf>
- Dussel Peters, Enrique; Palacios Lara, Juan José y Gómez Guillermo, Woo (Coordinadores); 2003/a. La industria electrónica en México: problemas, perspectivas y propuestas. Universidad de Guadalajara.
- Dussel Peters, Enrique (Coordinador); 2003/b. Perspectivas y retos de la competitividad en México. Coedición UNAM y CANACINTRA.
- Dussel Peters, Enrique; 2003/c. “Ser maquila o no ser maquila ¿es ésa la pregunta?”. Comercio Exterior, vol. 53, núm. 4. [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)
- Dussel Peters, Enrique y Palacios Lara, Juan José (Coordinadores); 2004/a. “Condiciones y retos de la electrónica en México”, Normalización y Certificación Electrónica, A. C.
- Dussel Peters, Enrique y Liu Xue Dong, 2004/b. “Oportunidades y Retos Económicos de China para México y Centroamérica”, CEPAL.

-Dussel Peters, Enrique y Trápaga Delfín, Yolanda; 2007/a. “China y México: Implicaciones de una nueva relación”. Editorial UNAM, Fundación Friedrich Ebert, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey y La Jornada Ediciones.

-Dussel Peters, Enrique (Compilador); 2007/b. “Oportunidades en la relación económica y comercial entre China y México”, CEPAL.

-Dussel Peters, Enrique (Coordinador); 2007/c. “La inversión extranjera directa en México: desempeño y potencial; una perspectiva macro, meso, micro y territorial”, Editorial Siglo XXI.

-Dussel Peters, Enrique; 2008/a. “The Mexico-China Economic Relationship in Electronics: A case study of the PC-Industry in Jalisco”. Document elaborated for the ESRC funded project “The Impacts of China’s Global Expansion on Latin América” coordinated by Professor Rhys Jenkins. Documento en proceso de publicación.

-Dussel Peters, Enrique; 2008/b. “GCCs and Development: A Conceptual and Empirical Review. Competition & Change, Vol. 12, No.1, March 2008 11-27

-Dussel Peters, Enrique; 2009. “Don’t Expect Apples From a Pear Tree: Foreign Direct Investment and Innovation in Mexico”. En Working Group on Development and Environment in the Americas, *Discussion Paper Number 28* [En línea]. <http://www.dusselpeters.com/41.pdf>

-ElectronicosOnline.com Magazine [En línea]. <http://electronicosonline.com>

-Ellul Jacques, 1964. “The Technological Society”. Vintage Books.

-Eloy, JC. 2006. Status of the MEMS industry in 2006. SENSORS&TRANSDUCERS Journal (IFSA), Vol.66. [http://www.sensorsportal.com/HTML/DIGEST/april\\_06/P\\_62.pdf](http://www.sensorsportal.com/HTML/DIGEST/april_06/P_62.pdf) [Consulta: 21/04/2013]

-Eloy, Jean Christophe y Mounier, Eric. 2004. Status of the MEMS Industry. OnBoard Technology October 2004 [En línea]. [http://www.onboard-technology.com/pdf\\_ottobre2004/100407.pdf](http://www.onboard-technology.com/pdf_ottobre2004/100407.pdf)

-Eloy, JC. 2007. Status of the MEMS Industry: Evolution or MEMS Markets and of the Industrial Infrastructure. SENSORS&TRANSDUCERS Journal (IFSA), Vol. 86 [En línea]. [http://www.sensorsportal.com/HTML/DIGEST/december\\_07/P\\_212.pdf](http://www.sensorsportal.com/HTML/DIGEST/december_07/P_212.pdf) [Consulta: 22/03/2013]

-Eloy JC. 2011. Status of the MEMS Industry New Drivers: the Path to New Opportunities. En Yole Développement [En línea]. [http://www.i-micronews.com/upload%5Cpresentation%5CMems\\_Semicon\\_Japan\\_2011\\_V1.pdf](http://www.i-micronews.com/upload%5Cpresentation%5CMems_Semicon_Japan_2011_V1.pdf) [Consulta: 23/05/2013]

-Engardio, Pete y Rissing Ben. Big Pharma's R&D Booster Shot. En Bloomberg Businessweek on June 11, 2008 [En línea]. <http://www.businessweek.com/stories/2008-06-11/big-pharmas-r-and-d-booster-shotbusinessweek-business-news-stock-market-and-financial-advice> [Consulta: 23/02/2012]

-Ernst Dieter. 2000. Global Production Networks and the Changing Geography of Innovation Systems: Implications for Developing Countries. East-West Center Working Papers, no. 9 [En línea]. <http://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/pdfs/ECONwp009.pdf>

-Ernst Dieter, 2001. "Global production networks and industrial upgrading: A knowledge-centered approach", East-West Center Working Papers, Economics Series, N° 25 (mayo) [En línea]. <http://www.eastwestcenter.org/sites/default/files/private/ECONwp025.pdf>

-Ernst Dieter. 2002. Global Production Networks and The Changing Geography of Innovation System. Implications for Developing Countries, East-West Center Working Papers, Economics Series, Vol. 11(6) [En línea]. [https://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/misc/Global\\_production2.pdf](https://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/misc/Global_production2.pdf)

-Ernst Dieter. 2003/a. "Redes globales de producción, difusión de conocimiento y formación de capacidades locales. Un marco conceptual". En Dussel Peters, Enrique; Palacios Lara, Juan José y Gómez Guillermo Woo (Coordinadores), 2003/a. "La industria electrónica en México: problemas, perspectivas y propuestas". Universidad de Guadalajara.

-Ernst Dieter. 2003/b. "Pathways to Innovation in the Global Network Economy: Asian Upgrading Strategies in the Electronics Industry", East-West Center Working Papers, Economics Series, N° 58 [En línea]. <http://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/pdfs/ECONwp058.pdf>

-Ernst Dieter y Boy Lüthje, 2003/c. "Global Production Networks, Innovation, and Work: Why Chip and System Design in the IT Industry are Moving to Asia". East-West Center Working Papers, no. 63 [En línea]. <http://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/pdfs/ECONwp063.pdf>

-Ernst Dieter. 2004/a. "¿Qué tan sustentable son los beneficios derivados de las redes globales de producción?. Perspectivas de escalamiento de la industria electrónica en Malasia". En Dussel Peters, Enrique, Juan José Palacios Lara, coordinadores; 2004/a. "Condiciones y retos de la electrónica en México", Normalización y Certificación Electrónica, A. C.

-Ernst Dieter, 2004/b. "Late Innovation Strategies in Asia Electronics Industries- A Conceptual, Framework and Illustrative Evidence". East West Center Working Papers, No. 66 [En línea]. <http://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/pdfs/ECONwp066.pdf>

-Ernst Dieter, 2004/c. Limits to Modularity: A Review of the Literature and Evidence from Chip Design. East West Center Working Papers, No. 71 [En línea]. <http://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/pdfs/ECONwp071.pdf>

-Ernst Dieter, 2006/a. "Innovation Offshoring. Asia's Emerging Role in Global Innovation Networks". East West Center Working Papers, Special reports; No. 10 [En línea]. <http://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/pdfs/SR010.pdf>

-Ernst Dieter, 2006/b. "The Offshoring of Innovation", Far Eastern Economic Review, 2006 [En línea]. <https://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/misc/FEER.pdf>

-Ernst Dieter, 2008/a. "Innovation offshoring and Asia's electronics industry-the new dynamics of global networks". East West Center Working Papers, No. 93 [En línea]. <http://dieterernst.files.wordpress.com/2010/06/pdf42.pdf>

-Ernst Dieter, 2008/b. "Innovation Offshoring and Asia's Upgrading through Innovation Strategies". East West Center Working Papers, No. 95 [En línea]. <http://scholarspace.manoa.hawaii.edu/bitstream/handle/10125/3707/ECONwp095.pdf?sequence=1>

-Ernst Dieter, 2008/c. "Governing the Global Economy: Mind the Gap!". East West Center Special Report, No. 93 [En línea]. <http://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/pdfs/ECONwp093.pdf>

-Ernst Dieter y Naughton Barry, 2008. "China's emerging industrial economy. Insights from the IT industry" in McNally Christopher "China's Emergent Political Economy. Capitalism in the dragon's lair" [En línea]. <http://dieterernst.files.wordpress.com/2010/06/pdf31.pdf>

-Ernst Dieter, 2009. "A New Geography of Knowledge in the Electronics Industry? Asia's Role in Global Innovation Networks". East West Center Working Papers; Policies studies [En línea]. No. 54. [http://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/pdfs/ps054\\_2.pdf](http://www.eastwestcenter.org/fileadmin/stored/pdfs/ps054_2.pdf)

-Esser, Klaus / Hillebrand, Wolfgang / Dirk, Messner / Meyer-Stamer, Jörg. 1996. Competitividad sistémica: Nuevo desafío a las empresas y a la política. Revista de la CEPAL, No. 59 [En línea]. <http://www.emprendecuador.ec/portal/index.php?module=Pagesetter&type=file&func=get&tid=15&fid=up&pid=43>

-Estrada Horacio, Mireles José, Villa Luis A., Murphy Roberto S., Torres Alfonso, García Pedro J.. 2009. Establecimiento de un Programa Nacional para el Diseño y Fabricación de - Prototipos MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Proyecto FORDECyT de la Convocatoria 2009-01 [En línea]. <http://promepca.sep.gob.mx/archivospdf/proyectos/Proyecto175432.PDF>

-Etzkowitz, Henry. 2002. The Triple Helix of University - Industry - Government Implications for Policy and Evaluation. Institutet för studier av utbildning och forskning [En línea]. [http://www.sister.nu/pdf/wp\\_11.pdf](http://www.sister.nu/pdf/wp_11.pdf)

-European Telecommunications Standards Institute [En línea]. <http://www.etsi.org/about>

- Federal Communications Commission [En línea]. <http://www.fcc.gov/>
- FEMSA, Informe de Sostenibilidad 2010 [En línea]. <http://www.femsa.com/es/assets/016/22782.pdf>
- Fitzgerald, Alissa M. 2006. No Rest for the Weary: MEMS Manufacturing Must Press On, With Big Market Ahead. En MEMS Industry Group, “Five Year Anniversary Report” [En línea]. <http://www.amfitzgerald.com/papers/NoRestfortheWeary.pdf>
- Fitzgerald, Alissa M. Planning for Successful MEMS Product Development. En Commercial Micro Manufacturing, July 2011 [En línea]. [http://amfitzgerald.com/papers/CMM\\_PlanningforSuccessfulMEMS.pdf](http://amfitzgerald.com/papers/CMM_PlanningforSuccessfulMEMS.pdf)
- Foladori, Guillermo e Invernizzi, Noela. 2005. Nanotecnología: beneficio para todos o mayor desigualdad. Redes mayo, vol. 11 número. 021 Universidad Nacional de Quilmes Bernal Este, Argetina [En línea]. [http://www.sltaucocho.org/nanotecnologia\\_guarin.pdf](http://www.sltaucocho.org/nanotecnologia_guarin.pdf)
- Ford, Joseph. 2005. Optical MEMS: A Brief History and Future Trends. MEMS JOURNAL, October 10, 2005 [En línea]. [http://www.memsjournal.com/2005/10/optical\\_mems\\_a\\_.html](http://www.memsjournal.com/2005/10/optical_mems_a_.html) [Consulta: 04/02/2013]
- Foro Consultivo Científico y Tecnológico, Diagnóstico de la Política Científica, Tecnológica y de Fomento a la Innovación en México 2000-2006 [En línea]. [http://www.foroconsultivo.org.mx/libros\\_editados/diagnostico.pdf](http://www.foroconsultivo.org.mx/libros_editados/diagnostico.pdf)
- Frankfurt Partners- Business Consulting [En línea]. <http://www.frankfurtpartners.de/en.html>
- From Brawn to Brain, Innovation in China. En The Economist-March 10, 2012[En línea]. <http://www.economist.com/node/21549989>
- FUMEC, Reporte Bial de Actividades 2008-2009 [En línea]. [http://fumec.org.mx/v6/htdocs/RepEsp\\_0809.pdf](http://fumec.org.mx/v6/htdocs/RepEsp_0809.pdf)
- FUMEC, Boletín Septiembre 2010. Innovación, clave para el crecimiento de México: entrevista con Leonardo Ríos [En línea]. [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)
- Fundación Cotec. Fabricación por adición de capas: la nueva revolución industrial. En Interempresas net Metalmecánica, 14/02/2012 [En línea]. <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/61580-Fabricacion-por-adicion-de-capas-la-nueva-revolucion-industrial.html>
- Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC). Reporte Bial de Actividades 2008-2009 [En línea]. <http://www.fumec.org.mx/v5/>

-García Canclini, Néstor. 1999. Globalizarnos o defender la identidad ¿Cómo salir de esta opción? .En La globalización imaginada. Editorial Paidós, Argentina.

-García Canclini, Nestor. 2000/a. Políticas culturales en tiempos de globalización. Publicado en la Revista de Estudios Sociales Universidad de los Andes, enero, número 005. Bogota, Colombia. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal- Sistema de Información Científica [En línea]. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81500506>

-García Canclini, Nestor. 2000/b. La globalización: ¿productora de culturas híbridas? (Conferencia inaugural). En el III Congreso Latinoamericano de la Asociación Internacional para el Estudio de la Música Popular se realizó en en la ciudad de Bogotá entre el 23 y el 27 de agosto del año 2000 bajo el patrocinio del Ministerio de Cultura de Colombia, la Academia Superior de Artes de Bogotá y la Subdirección de Cultura del Instituto Distrital de Cultura y Turismo de Bogotá [En línea]. <http://www.iaspmal.net/wp-content/uploads/2011/10/Garciacanclini.pdf>

-García Canclini, Nestor. 2003. Noticias recientes sobre hibridación. Trans. Revista Transcultural de Música, núm. 7, diciembre, 2003, Sociedad de Etnomusicología España. En Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal-Sistema de Información Científica [En línea]. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=82200702>

-Gereffi, Gary. 2001/a. Beyond the Producer-driven/Buyer-driven Dichotomy The Evolution of Global Value Chains in the Internet Era. En IDS Bulletin Vol 32 No 3 2001[En línea]. [http://pdf.aminer.org/000/327/011/exploring\\_web\\_customers\\_trust\\_formation\\_in\\_infomediaries.pdf](http://pdf.aminer.org/000/327/011/exploring_web_customers_trust_formation_in_infomediaries.pdf)

-Gereffi Gary, John Humphrey, Raphael Kaplinsky, and Timothy J. Sturgeon. 2001/b. Introduction: Globalisation, Value Chains and Development. En Institute of Development Studies Bulletin, vol. 32 no. 3 (July) [En línea]. <http://www.ids.ac.uk/files/dmfile/gereffietal323.pdf>

-Gereffi Gary, 2001/c. Sistema Global de Producción y el Desarrollo del Tercer Mundo. Migel Ángel Rivera Ríos (Trad.). Facultad de Economía, UNAM.

-Gereffi, Gary. 2005. The Global Economy: Organization, Governance, and Development. En The handbook of economic sociology. Princeton University Press [En línea]. <http://www.uwi.edu/ccfc/wp-content/uploads/2013/11/The-Global-Economy.-cOrganizationGovernance-and-Development.pdf>

-Gereffi Gary, Humphrey John y Sturgeon Timothy. 2005. The Governance of Global Value Chains, Review of International Political Economy, vol. 12 no. 1 [En línea]. <http://www.rrojasdatabank.info/sturgeon2005.pdf>

-Gereffi, Gary y Wadhwa, Vivek. 2005. Framing the Engineering Outsourcing Debate: Placing the United States on a Level Playing Field with China and India. Reporte preliminar de Duke University's Master of Engineering Management Program [En línea]. [http://emlab.berkeley.edu/users/webfac/cbrown/e153\\_sp06/dukeoutsourcing2005Econ153.pdf](http://emlab.berkeley.edu/users/webfac/cbrown/e153_sp06/dukeoutsourcing2005Econ153.pdf) [Consulta: 10/10/2011]

-Gereffi, Gary; Wadhwa, Vivek; Rissing, Ben y Ong, Ryan. 2008. Getting the Numbers Right: International Engineering Education in the United States, China, and India. En Journal of Engineering Education, January 2008 [En línea]. [http://www.cggc.duke.edu/pdfs/Gereffi\\_JEE\\_Gettingthenumbersright-USChina&India\\_Jan2008.pdf](http://www.cggc.duke.edu/pdfs/Gereffi_JEE_Gettingthenumbersright-USChina&India_Jan2008.pdf)

-Geri, Smith. 2006. México: Pumping Out Engineers. Business week Magazine, 21 de Mayo 2006 [En línea]. <http://www.businessweek.com/stories/2006-05-21/mexico-pumping-out-engineers> [Consulta: 2/Abril/2013]

-Global Information, Premium market research reports [En línea]. <http://www.giiresearch.com/>

-Global Value Chains-Duke University [En línea]. <http://www.globalvaluechains.org/concepts.html>

-Gómez Cruz, Cesar Tomás. 2011. Tesis de Licenciatura: Diseño de sensores inerciales basados en la tecnología de microsistemas. Carrera de Ingeniería en Computación, UNAM [En línea]. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/213/A4.pdf?sequence=4>

-González Amador, Roberto. El precipicio fiscal. En la Jornada, 11 de noviembre de 2012 [En línea]. <http://www.jornada.unam.mx/2012/11/11/economia/025n3eco>

-Guillén Romo, Héctor. 1984. Orígenes de la Crisis en México. Ediciones Era.

-Habermas, Jürgen. 1990. Teoría y Praxis. Tecnos, España.

-Henderson, Rebecca y Clark, Kim. 1990. Architectural Innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. Administrative Science Quartely, Marzo 1990 [En línea]. [http://www.business.illinois.edu/josephm/BA549\\_Fall%202014/Session%206/6\\_Henderson\\_Clark%20\(1990\).pdf](http://www.business.illinois.edu/josephm/BA549_Fall%202014/Session%206/6_Henderson_Clark%20(1990).pdf)

-Herrera May Agustín, Aguilera Cortés Luz Antonio, Manjarrez Elías y González Palacios Max. Sistemas Nanoelectromecánicos: Origen, Aplicaciones y Desafíos. Interciencia, vol. 35, núm. 3, marzo, 2010, pp. 163-170, Asociación Interciencia Venezuela. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Sistema de Información Científica [En línea]. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33913157003>

-Huarachi Chávez Jorge, 2008. La Competitividad un concepto multidimensional: Nación, Industria, la Región y la Empresa. Artículos USAT, Miércoles 27 de febrero de 2008 [En línea] <http://articulosusat.blogspot.mx/2008/02/la-competitividad-un-concepto.html>

-IEEE Advancing Technology Humanity [En línea]. <https://plus.google.com/110847308612303935604/about>

-IMBERA-Sostenibilidad [En línea]. <http://imberacooling.com/sostenibilidad.html>

-IMPI en Cifras 2010. Cifras 1993-Enero/Septiembre de 2010. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. <http://www.impi.gob.mx/>

-Intelligent Manufacturing Systems.Global Research and Business Innovation Program [En línea]. <http://www.ims.org/about/program-overview/>

-International Technology Roadmap for Semiconductors Semiconductor. 2013. Industry Association. [En línea]. <http://www.itrs.net/Links/2013ITRS/2013Chapters/2013ExecutiveSummary.pdf>

-Invensense, Company Profile [En línea]. <http://www.invensense.com/mems/about.html>

-Jalife Daher, Mauricio. Régimen de Licencias Obligatorias de Patentes en el campo de la Salud. En Brena Sesma, Ingrid. 2005. SALUD Y DERECHO. Memoria del Congreso Internacional de Culturas y Sistemas Jurídicos Comparados. Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM [En línea]. <http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/4/1586/15.pdf>

-Jarrett y Wendholt, 2010. Transferring Technology to Transform China—Is It Worth It?. En China Business Review, March 1, 2010 [En línea]. <http://www.chinabusinessreview.com/transferring-technology-to-transform-china-is-it-worth-it/>

-Jasso Villazul, Javier. 1999. Los sistemas de innovación como mecanismos de innovación y de transferencia tecnológica. CIDE, no. 76.

-Jiang, Liudi y Cheung, Rebecca. 2009. A review of silicon carbide development in MEMS applications. En Int. J. Computational Materials Science and Surface Engineering, Vol. 2, Nos. 3/4 [En línea]. [http://eprints.soton.ac.uk/63549/1/IJNM\\_review\\_1st\\_2009.pdf](http://eprints.soton.ac.uk/63549/1/IJNM_review_1st_2009.pdf)

-Johnson, R. Colin. 2010. Analyst split on MEMS growth rate forecast. En EE|Times Connecting the Global Electronics Community, 11/04/2010 [En línea]. [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1257812](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1257812) [consulta: 23/08/2013]

-Juma, Calestous y Yee Cheong, Lee, Coordinadores. 2005. Innovation: applying knowledge in development. United Nations Development Programme Millennium Project [En línea]. <http://www.unmillenniumproject.org/documents/Science-complete.pdf>

-Kaplinsky, Raphael. 2000. Globalisation and Unequalisation: What Can Be Learned from Value Chain Analysis ? The Journal of Development Studies; Dec 2000; 37, 2; ABI/INFORM Global [En línea]. [http://siteresources.worldbank.org/INTAFRSUMESSD/Resources/1729402-1150389437293/Kaplinsky\\_Value\\_Chain.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTAFRSUMESSD/Resources/1729402-1150389437293/Kaplinsky_Value_Chain.pdf)

-Kaplinsky, Raphael. 2007. The structure of supply chains and their implication for export supply". Paper prepared for African Economic Research Consortium June 2007 [En línea]. <http://asiandrivers.open.ac.uk/documents/Kaplinsky%20Morris%20GVCs,%20AERC%20Nov%2006.pdf>

-Kazmierski, Caroline. 2012/a. Semiconductor Industry Posts Record-Breaking Revenues Despite 2011 Challenges. Semiconductor Industry Association, February 6, 2012 [En línea]. [http://www.semiconductors.org/news/2012/02/06/global\\_sales\\_report\\_2012/semiconductor\\_industry\\_posts\\_record\\_breaking\\_revenues\\_despite\\_2011\\_challenges/](http://www.semiconductors.org/news/2012/02/06/global_sales_report_2012/semiconductor_industry_posts_record_breaking_revenues_despite_2011_challenges/) [Consulta: 10/01/2013]

-Kazmierski, Caroline. 2012/b. Global Technology Executives Collaborate to Deliver Faster, Smarter and Less Expensive Integrated Circuits to Consumers. Semiconductor Industry Association, May 25, 2012 [En línea]. [http://www.semiconductors.org/news/2012/05/25/news\\_2012/global\\_technology\\_executives\\_collaborate\\_to\\_deliver\\_faster\\_smarter\\_and\\_less\\_expensive\\_integrated\\_circuits\\_to\\_consumers/](http://www.semiconductors.org/news/2012/05/25/news_2012/global_technology_executives_collaborate_to_deliver_faster_smarter_and_less_expensive_integrated_circuits_to_consumers/) [Consulta: 10/01/2013]

-Ke, Changhong y Espinosa, Horacio D., 2005. Chapter 12-Nanoelectromechanical Systems and Modeling. En Handbook and Theoretical and Computational Nanotechnology. Editorial American Scientific Publishers [En línea]. <http://www.shmmexx.yolasite.com/resources/Nanoelectromechanical%20Systems.pdf>

-Kempe, Volker. 2011. Inertial MEMS, Principles and Practice. Chapter 5. First level-packaging. Cambridge University Press [En línea]. <http://ebooks.cambridge.org/chapter.jsf?bid=CBO9780511933899&cid=CBO9780511933899A028>

-King Alexander, 1982. ¿Nueva revolución industrial o simplemente otra tecnología? en Informe al Club de Roma. Microelectrónica y Sociedad para bien o para mal, G Friedrichs-A. Schaff. Editorial Alhambra.

-Knutti, J. W. y Allen; H. V. 2004. Trends in MEMS Commercialization. En H. Balthes, H.; Brand, O.; Fedder, K.C. Hierold, C.; Korvink, J. y Tabata O. Advanced Micro and Nanosystems . Vol. 1. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim [En línea]. [http://www.wiley-vch.de/books/info/amn/sample/AMN1\\_Chapter02.pdf](http://www.wiley-vch.de/books/info/amn/sample/AMN1_Chapter02.pdf)

-Kumar Vashist, Sandeep. 2007. A Review of Microcantilevers for Sensing Applications. En Azojono.com, June 18, 2007 [En línea]. <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1927> [Consulta: 28/06/2010]

-Lab-on-Chip.gene-quantification.info, Definition [En línea]. <http://www.gene-quantification.de/lab-on-chip.html> [Consulta: 22/02/2012]

-Lampo, Sussana. 2012. National MEMS Technology Roadmap-Markets, Applications And Devices. Master's Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Technology, 11.7.2012. A! ALTO UNIVERSITY SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINNERING [En línea]. <http://lib.tkk.fi/Dipl/2012/urn100673.pdf>

-Ley de Ciencia y Tecnología. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de junio de 2002 [En línea]. [http://www.cibiogem.gob.mx/Norm\\_leyes/Documents/L\\_CyT.pdf](http://www.cibiogem.gob.mx/Norm_leyes/Documents/L_CyT.pdf)

-Leyva Marín, Lizbeth y Chávez G. 2007. México y China: Competencia en el mercado de Estado Unidos. Revista Comercio Exterior, Vól. 57, No. 11.

-Li, Ted Y. 2007. Antorcha. Programa de fomento de la capacidad empresarial que puede dar nuevo impulso a la región Texas-México (tex-mex) y ampliar la cooperación Estados Unidos-México-China. En "Oportunidades en la relación económica y comercial entre China y México". Sección 2, CEPAL [En línea]. <http://www.economia.unam.mx/deschimex/cechimex/chmxExtras/repositorio/archivos/OportunidadesChina-Mexico2007.pdf> [Consulta: 11/11/2013]

-Lightman, Karen. 2011/a. MEMS Market Opportunities and Developments from a US Perspective. Presentación en Hannover Messe US MEMS Day, 5 April 2011 [En línea]. <http://memsindustrygroup.org/files/MEMS%20Industry%20Group%20-%20US%20MEMS%20Day%2005042011%20final.pdf> [Consulta: 22/11/2012]

-Lightman, Karen. 2011/b. MIG's perspective on the US MEMS Market and beyond... Presentación en Tonoku University, 30 July 2011. [http://www.memsindustrygroup.org/i4a/doclibrary/getfile.cfm?doc\\_id=181](http://www.memsindustrygroup.org/i4a/doclibrary/getfile.cfm?doc_id=181)

-Lightman, Karen. 2011/c. Why MEMS matters?. En MICROmanufacturing, Volume 4 Issue 6 [En línea]. <http://www.micromanufacturing.com/content/why-mems-matters> [Consulta: 25/03/2013]

-Lining, Sun. 2002. "Review of MEMS Development and the Developing Strategy of MEMS in China". Foro en Estados Unidos sobre la Tecnología Nano, año 2002 [En línea]. <http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=head%20of%20key%20projet%20on%20mems%20expert%20group%20of%20%20E2%80%9C863%E2%80%9D%20program%20of%20china%20&source=web&cd=3&ved=0CDQQFjAC&url=http%3A%2F%2F863.kep.u.net.cn%2Fenglish%2FForum%2F2.doc&ei=-fTJTq6UFse0iQf4g5nkDw&usg=AFQjCNF-PY8k3I09wsFKZIQNa4zAm4VMyg&cad=rjt>

-Llorente, Alvarado. 2012. Giroscopio digital de tres ejes. En [diarioelectronicohoy.com](http://www.diarioelectronicohoy.com), 26 de enero, 2012 [en línea]. <http://www.diarioelectronicohoy.com/giroscopio-digital-de-tres-ejes-2/> [Consulta: 12/01/2013]

-López Marín, Luz María; Contreras Valeriano, Yissel; Arenas, Concepción; Estrada, Horacio y Castaño, Víctor Manuel. 2011. BIOCHIP contra el mayor asesino mundial. En *Revista Ciencia y Desarrollo*, volumen 237, número 249, págs. 8-12.

-López Portela, Silvia. 2011. Tesis de Licenciatura: Caracterización de MEMS usando el analizador de microsistemas MSA-400. Carrera de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, UNAM [En línea]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/306/A4.pdf?sequence=4>

-Maluf, Nadim. 2000. *An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering*. Artech House, Inc. [En línea]. <http://newplans.net/RDB/An%20Introduction%20to%20MEMS%20Engineering%20-%20Nadim%20Maluf%20and%20Kirt%20Williams.pdf>

-Márquez, David y Cárdenas, Óscar. 2006. Estado del arte de los sistemas microelectromecánicos *Revista Ciencia e Ingeniería*, Vol. 27-no. 3. <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/view/307/326>

-Megias, Javier. *Tendencias: La Innovación Frugal*. En Blog Javier Megias; Estrategias, Startups y Modelos de Negocios; 6 de Marzo de 2012 [En línea]. <http://javiermegias.com/blog/2012/03/tendencias-la-innovacion-frugal-o-inversa/> [Consulta: 12/10/2013]

-MEMS Industry Group–Glossary [En línea]. <http://www.memsindustrygroup.org/?page=Glossary>

-MEMS Industry Group, September 2011. *MEMS Testing Standards: A Path to Continued Innovation Report on MEMS Testing Standards Workshop* [En línea]. [http://www.memsindustrygroup.org/files/resource\\_library\\_files/MIG-NIST\\_MEMS\\_Test\\_Full\\_Report.pdf.pdf](http://www.memsindustrygroup.org/files/resource_library_files/MIG-NIST_MEMS_Test_Full_Report.pdf.pdf)

-MEMS JOURNAL. *Fabless MEMS manufacturing: can process drive design?*. March 2, 2013 [En línea]. <http://www.memsjournal.com/2013/03/fabless-mems-manufacturing-can-process-drive-design.html> [Consulta: 5/04/2013]

-MEMSnet. An information portal for the MEMS and Nanotechnology community [En línea]. <https://www.memsnet.org/about/what-is.html>

-Micromachine Center website [En línea]. <http://www.mmc.or.jp/e/>

-MICRONANO. Micromachine Center, Japan. A Survey of China's Research Trends in Micro / Nanosystems. Revista trimestral, No. 59-Mayo 2007 [En línea]. <http://mmc.la.coocan.jp/info/magazine/59e/micro59-english.pdf>

-Microscan Systems, Inc., página web [En línea]. <http://www.microscan.com/es/Technology/MachineVision.aspx>

-Millenium Project task forces, 2005. Innovation: applying knowledge in development [En línea]. <http://www.unmillenniumproject.org/documents/Science-complete.pdf>

-Ministry of Science and Technology of the Peoples Republic of China. [http://www.most.gov.cn/eng/statistics/2005/t20060317\\_29722.htm](http://www.most.gov.cn/eng/statistics/2005/t20060317_29722.htm)  
<http://www.most.gov.cn/English/index.htm>

-Minamikawa, Akira y Bouchaud, Jérémie. MEMS entered double digit growth cycle-IHS iSuppli. En 17th International Micromachine Nanotech Symposium Tokyo, July 13th, 2011. [En línea]. [http://mmc.la.coocan.jp/business/micronanoevent/micronano2011/17sympo/4\\_minamikawa.pdf](http://mmc.la.coocan.jp/business/micronanoevent/micronano2011/17sympo/4_minamikawa.pdf)

-Mireles, José; Jefe del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Aplicada (CICTA). "Estado del Arte de los MEMS (Sistemas MicroElectroMecánicos), y su estado actual en México". Presentación en Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; Febrero 19, 2010 [En línea]. [http://sirio.uacj.mx/cgip/Documents/EVIDENCIA%20PNPC%202013/CONACYT\\_MCM/C\)%20PERS%20ACADEMICO/Cr%209.%20LGAC/EVIDENCIA%20materiales/Jos%C3%A9%20Mireles%20Jr/2010/4231-84.pdf](http://sirio.uacj.mx/cgip/Documents/EVIDENCIA%20PNPC%202013/CONACYT_MCM/C)%20PERS%20ACADEMICO/Cr%209.%20LGAC/EVIDENCIA%20materiales/Jos%C3%A9%20Mireles%20Jr/2010/4231-84.pdf)

-MNX| MEMS&Technology Exchange [En línea]. <https://www.mems-exchange.org/MEMS/what-is.html>

-Montero, Cecilia y Morris Pablo, sin fecha .Territorio, competitividad sistémica y desarrollo endógeno. Metodología para el estudio de los Sistemas Regionales de Innovación. Revista RedIRIS [En línea]. <http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Frevista-redes.rediris.es%2Fwebredes%2Ftextos%2Fartsexta.doc&ei=26EUVLPzHeja8AHA8oGIAQ&usq=AFQjCNFnDPFBVIK3Lc0Owsd1vtvd-gbGJg&bvm=bv.75097201.d.b2U>

-Moore, Karl. The Best Way to Innovation?-An Important Lesson from India. En Forbes, 5/24/2011 [En línea]. <http://www.forbes.com/sites/karlmoore/2011/05/24/the-best-way-to-innovation-an-important-lesson-from-india/> [Consulta: 12/03/2012]

-Mounier, Eric y Robin, Laurent. 2011. Status of the MEMS Industry 2011. En Yole Developpement, Market & Technology Report-September 2011 [En línea]. [http://www.i-micronews.com/upload/Rapports/Yole\\_Status\\_of\\_the\\_MEMS\\_Industry\\_flyer.pdf](http://www.i-micronews.com/upload/Rapports/Yole_Status_of_the_MEMS_Industry_flyer.pdf)

-Mounier, Eric y Robin, Laurent. 2012. MEMS market will continue double digit growth, to double by 2017. En MEMS Trends, Issue no.10-April 2012 [En línea]. [http://www.memsindustrygroup.org/files/MEMSTrends\\_April2012\\_iMN.pdf](http://www.memsindustrygroup.org/files/MEMSTrends_April2012_iMN.pdf)

-Moyer, Bryon. Letting Process Drive MEMS Design. En Electronic Engineering Journal- November 29, 2012 [En línea]. <http://www.eejournal.com/archives/articles/20121129-silex/> [Consulta:23/05/2013]

-Mulgan Geoff. Innovation for frugality. En Nesta-News&Features [En línea]. [http://www.nesta.org.uk/news\\_and\\_features/12for2012/assets/features/innovation\\_for\\_frugality](http://www.nesta.org.uk/news_and_features/12for2012/assets/features/innovation_for_frugality) [Consulta: 21/11/2012]

-Mumford, 1945. Técnica y Civilización, Volumen I. Editorial Emecé, Buenos Aires.

-Munuswamy, Suresh. ChotuKool: the \$69 fridge for rural India. En Gizmag-December 28, 2009 [En línea]. <http://www.gizmag.com/refridgerator-rural-india-chotukool/13680/> [Consulta 12/02/2013]

-Murata Manufacturing Co. Ltd. [En línea]. [http://www.murata.com/new/news\\_release/2012/0525/](http://www.murata.com/new/news_release/2012/0525/)

-Nadal, Alejandro. 2001. Contradicciones del Modelo de Economía Abierta. Programa sobre Ciencia, Tecnología y Desarrollo. Documento de Trabajo no. 1-01. El Colegio de México.

-Nadal, Alejandro. Conacyt: flotando en el vacío. La Jornada 13 de Marzo de 2002 [En línea]. <http://www.jornada.unam.mx/2002/03/13/025a1eco.php?origen=opinion.html>

-Nadal Alejandro, 2007. Ciencia y tecnología en el desarrollo sustentable de México. En Calva, José Luis (coordinador). 2007. Educación, ciencia, tecnología y competitividad. Agenda para el desarrollo. Vol 10. Coedición: Cámara de Diputados LX LEGISLATURA, UNAM y Miguel Ángel Porrúa.

-Nadal, Alejandro. 2011. Overview: Macroeconomic Policies for Sustainability. En Policy Matters 18, November, 2011. IUCN Commission on Environmental, Economic and Social Policy (CEESP) Journal [En línea]. [http://cmsdata.iucn.org/downloads/2\\_overview\\_nadal\\_ceesp\\_policy\\_matters\\_18\\_macroecomics.pdf](http://cmsdata.iucn.org/downloads/2_overview_nadal_ceesp_policy_matters_18_macroecomics.pdf)

-Nadal, Alejandro; De la Vega, Ángel y Chávez, Fernando. 1974. Características del Sistema Científico y Tecnológico de México. Revista Demografía y Economía VIII no.3. El Colegio de México.

-Namchul Shin, Kenneth L. Kraemer y Jason Dedrick. 2009. "R&D, Value Chain Location and Firm Performance in the Global Electronics Industry. This research has been supported by grants from the U.S. National Science Foundation and the Alfred P. Sloan Foundation.

Industry Studies Association [En línea].  
<http://www.industrystudies.pitt.edu/chicago09/docs/Shin%201.3.pdf>

-Nirmalya, Kumar y Phanish, Puranam. 2012. Frugal engineering: An emerging innovation paradigm. Ivey Business Journal, Innovation March/April 2012 [En línea].  
<http://www.iveybusinessjournal.com/topics/innovation/frugal-engineering-an-emerging-innovation-paradigm> [Consulta: 01/10/2012]

-Observatorio Laboral [En línea].  
[http://www.observatoriolaboral.gob.mx/wb/ola/ola\\_principal](http://www.observatoriolaboral.gob.mx/wb/ola/ola_principal)

-OECD.StatExtracts. Basic Science and Technology Indicators, 2004 y 2005 [En línea].  
[http://stats.oecd.org/index.aspx/Index.aspx?DataSetCode=MSTI\\_PUB](http://stats.oecd.org/index.aspx/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB)

-OECD Science, Technology and Industry Outlook, 2008 [En línea].  
<http://www.fmag.unict.it/Public/Uploads/article/Science%20Tecnology%20and%20Industry.PDF>

-OECD Science, Technology and Industry Outlook, 2012 [En línea].  
[http://www.keepeek.com/oecd/media/science-and-technology/oecd-science-technology-and-industry-outlook-2012\\_sti\\_outlook-2012-en#page1](http://www.keepeek.com/oecd/media/science-and-technology/oecd-science-technology-and-industry-outlook-2012_sti_outlook-2012-en#page1)

-Organización Mundial de la Salud (OMS). Cuestiones prioritarias en materia de investigación sobre la tuberculosis y la infección por el VIH en entornos de recursos limitados donde la infección del VIH es prevalente [En línea].  
[http://www.stoptb.org/wg/tb\\_hiv/assets/documents/priorityresearch\\_spanish.pdf](http://www.stoptb.org/wg/tb_hiv/assets/documents/priorityresearch_spanish.pdf) [Consulta: 15/06/2011]

-Organización Mundial de la Salud (OMS). Tuberculosis diagnóstico y laboratorios [En línea]. <http://who.int/tb/laboratory/mtbrifrollout/en/index.html#> [Consulta: 11/08/2013]

-Oropeza, Laura y Hautefeuille, Mathieu. 2010. Tecnología MEMS: un pequeño mundo con grandes posibilidades. En Revista Materiales Avanzados, Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM; Año 8, No.15, páginas 41-48 [En línea].  
<http://www.iim.unam.mx/revista/pdf/numero15.pdf>

-Ouellette, Jennifer.1996. MEMS: Mega promise for micro devices. The Industrial Physicist, American Institute of Physics. Vol. 2, no. 3. [En línea].  
<http://www.aip.org/tip/INPHFA/vol-2/iss-3/p9.pdf> [14/02/2013]

-Palazzesi, Ariel. 2008. MEMS, las nanomáquinas que cambiarán al mundo. Revista Neoteo, No.18-Febrero 2008 [En línea]. <http://www.neoteo.com/PDF/neoteo18.pdf>

-Pallares Gómez, Miguel Ángel. 2012. Imbera, segunda productora de refrigeradores en el mundo. En El Analista, 17 de Abril de 2012 [En línea].  
<http://empresaspallares.blogspot.mx/2012/04/imbera-segunda-productora-de.html>  
[Consulta: 12/09/2013]

-Perkins, Jeff. 2012. MEMS Everywhere: Sensing the world around you.... and more. Semicon West. Ponencia presentada en Julio 10, 2012, San Francisco, CA. Yole Développement [En línea]. [https://semiconwest.org/sites/semiconwest.org/files/docs/Jeff%20%20Perkins\\_Yole.pdf](https://semiconwest.org/sites/semiconwest.org/files/docs/Jeff%20%20Perkins_Yole.pdf)

-Piore, Michael y Lester, Richard. 1999. INNOVATION. The Missing Dimension. Harvard University Press.

-Piore, Michael. 2007. A Critical View of Schumpeter's Theory of innovation". Prepared for Presentation at Conference on Capitalism and Entrepreneurship Cornell University September 28, 2007 [En línea]. <http://econ-www.mit.edu/files/3099>

-Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 [En línea]. [http://www.snieg.mx/contenidos/espanol/normatividad/marcojuridico/PND\\_2007-2012.pdf](http://www.snieg.mx/contenidos/espanol/normatividad/marcojuridico/PND_2007-2012.pdf)

-Poole, Charles P. y Owens, Frank J., 2007. Introducción a la nanotecnología. Editor Reverte [En línea]. <https://books.google.com.mx/books?id=xmWImflMcAAC&pg=PA363&lpg=PA363&dq=sistemas+nanoelectromec%C3%A1nicos&source=bl&ots=TRJsjrJpM&sig=57HfOnnqdT5AM6tUrWPUkGr6Y-o&hl=es&sa=X&ei=gtjoVJHPBMiqggTEEn4GQCA&ved=0CDYQ6AEwAw#v=onepage&q=sistemas%20nanoelectromec%C3%A1nicos&f=false>

-Pöpperl Claudia, 2009. Fiche de lecture. Small is beautiful. Economics as If People Mattered. Alternative Management Observatory [En línea]. [http://appli6.hec.fr/amo/Public/Files/Docs/100\\_en.pdf](http://appli6.hec.fr/amo/Public/Files/Docs/100_en.pdf)

-Pralhad, C. K. y Mashelkar, R. A., 2010. Innovation's Holy Gray. Harvard Business Review Julio-Agosto 2010 [En línea]. [http://www.nif.org.in/dwn\\_files/hbr\\_Mashelkar+CK\\_MLM.pdf](http://www.nif.org.in/dwn_files/hbr_Mashelkar+CK_MLM.pdf)

-Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2008-2012 [En línea]. <http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/docs/contenido/PECiTI.pdf>

-Pyzowski, P. 2011. "Health and Medical Market Strategies for MEMS Companies". *MEMS Journal*. [En línea]. <http://www.memsjournal.com/2011/02/health-and-medical-market-strategies-for-mems-companies.html> [Consulta: 01/3/2013]

-Rada, Juan F. 1982. Technology and the North-South division of labour. Institute of Development Studies. IDS Bulletin, Volume 13, Issue 2.

-Ramírez, Nardo; Regueiro, Ángel; Arias, Olimpia y Contreras, Rolando. 2009. Espectroscopía de impedancia electroquímica, herramienta eficaz para el diagnóstico rápido microbiológico. En *Elfos Scientiae Biotecnología Aplicada*, vol. 26, no.1 [En línea]. <http://elfoscientiae.cigb.edu.cu/PDFs/BA/2009/26/1/BA002601EN065-071.pdf> [Consulta: 23/11/2012]

-Ratliff, Lee. Optical Telecom Gear Market Finally Recovers from Dot-Com Bust. En HIS iSuppli- Press Release, September 28, 2010 [En línea]. <http://www.isuppli.com/Home-and-Consumer-Electronics/News/Pages/Optical-Telecom-Gear-Market-Finally-Recovers-from-Dot-Com-Bust.aspx> [20/04/2013]

- Rivera Vargas, María Isabel. 2004. “Transferencia y aprendizaje tecnológico en el clúster de la electrónica en Jalisco: Impacto y evolución”. En “Perspectivas de escalamiento de la industria electrónica en Malasia”. En Dussel Peters, Enrique, Juan José Palacios Lara, coordinadores; 2004/a. “Condiciones y retos de la electrónica en México”, Normalización y Certificación Electrónica, A. C.

-Robin, Lauren. New MEMS Opportunities in cell phones and tablets: What will be the new killer apps. Yole Développement-Micromachine/MEMS 2012-MEMS market briefing [En línea]. <http://www.imicronews.com/upload/file/New%20MEMS%20opportunities%20-%20Micromachine%202012.pdf>

-Robles Belmont, Eduardo. 2008. Las redes científicas como respuesta a la emergencia de las nanociencias y nanotecnologías [En línea]. <http://www.google.com.mx/search?q=Las+redes+cient%C3%ADficas+como+respuesta+a+la+emergencia+de+las+nanociencias+y+nanotecnolog%C3%ADas+Eduardo+Robles+Belmont&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:es-ES:official&client=firefox-a>

-Robson, David. Size Matters. En Electro optics.com, December 2006/January 2007 [En línea]. [http://www.electrooptics.com/features/feature.php?feature\\_id=20](http://www.electrooptics.com/features/feature.php?feature_id=20) [Consulta:27/03/2013]

-Rodríguez Sánchez Leopoldo E, Rubio Castillo Rubio Castillo y otros, 2010. El papel de la ingeniería en la innovación y en la ciencia y la tecnología. Documento de trabajo elaborado para el estudio “Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo”, realizado por la Academia de Ingeniería de México con el patrocinio del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [En línea]. <http://www.ai.org.mx/Estado/pdf/generados/Segunda%20Entrega/4.El%20Papel%20de%20la%20Ingenier%C3%ADa%20en%20la%20Innovaci%C3%B3n%20y%20en%20la%20Ciencia%20y%20la%20Tecnolog%C3%ADa.pdf>

-Romero Aroche, Oscar. 2008. Tesis de Maestría: Arreglos reflectivos del tipo Spyraphase con Elementos MEMS. Carrera de Ingeniería Eléctrica, UNAM [En línea]. [http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2471/romero\\_aroche.pdf?sequence=1](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2471/romero_aroche.pdf?sequence=1)

-Roussel, Benjamin. 2013. BIOMEMS, Market&Technology Report. En Yole Développement [En línea]. [http://www.nma.org.tw/File/news/Yole\\_BIOMEMS\\_2013\\_Report\\_Flyer\\_AC.pdf](http://www.nma.org.tw/File/news/Yole_BIOMEMS_2013_Report_Flyer_AC.pdf)

- Sajin R, 2012. *A Seminar Report on E-Call- A Call Between Life and Death* [En línea]. <http://www.slideshare.net/sajinrb/seminar-report-sajin> [Consulta: 2/03/2013].
- Sandia National Laboratories, MEMS Home [En línea]. <http://www.mems.sandia.gov/index.html>
- Schumpeter, Joseph A. 1957. Teoría del desenvolvimiento económico. FCE.
- Schumpeter, Joseph A. 1950. Capitalism, Socialism, and Democracy. Harper & Brothers Publishers
- Secretaría de Economía (2002). Programa para la competitividad de la industria electrónica y de alta tecnología [En línea]. <http://www.economia.gob.mx/>
- Sehgal, Vikas; Dehoff, Kevin y Panneer, Ganesh. 2010. The Importance of frugal Engineering. Providing new goods and services to “bottom of the pyramid” customers requires a radical rethinking of product development. Strategy +Business [En línea]. <http://www.lhstech.com/chair/Articles/FrugalEngineering.pdf>
- Sekiguchi, Yoshio. 2012. MEMS in the Mainstream: Introduction to MEMS Industry Group and the U.S. MEMS Industry. Presentación en International Micromachine/Nanotech Symposium July 11, 2012 [En línea]. [http://www.memsindustrygroup.org/i4a/doclibrary/index.cfm?pageid=4019&showTitle=1#category\\_13](http://www.memsindustrygroup.org/i4a/doclibrary/index.cfm?pageid=4019&showTitle=1#category_13)
- Semiconductor Industry Association. 2013. International Technology Roadmap for Semiconductors, [En línea]. <http://www.itrs.net/Links/2013ITRS/2013Chapters/2013ExecutiveSummary.pdf>
- Shlaes, Amity.2008. De Ponderosa a Googleplex: Los estadounidenses movilizan capital hacia las ideas novedosas. En Fusión de capital de riesgo y tecnología de punta, eJournal USA, Vol. 13-No.5 [En línea]. [http://photos.state.gov/libraries/amgov/30145/publications-spanish/Venture\\_Capital\\_Meets\\_Hi-Tech\\_0508sp.pdf](http://photos.state.gov/libraries/amgov/30145/publications-spanish/Venture_Capital_Meets_Hi-Tech_0508sp.pdf)
- Solid State Technology. Industrial MEMS market headed for consolidation, says Frankfurt Partners. June 15, 2011 [En línea]. <http://www.electroiq.com/articles/stm/2011/06/industrial-mems-market.html>
- Solid State Technology. MOEMS grow with new applications in displays. April 20, 2012 [En línea]. <http://www.electroiq.com/articles/stm/2012/04/moems-grow-with-new-applications-in-displays.html> [Consulta: 12/03/2013]
- Solid State Technology. NIST promotes lab-on-chip testing standard dev. August 8, 2012 [En línea]. <http://www.electroiq.com/articles/stm/2012/08/nist-promotes-lab-on-chip-testing-standard-dev.html> [Consulta: 13/11/2012]

-Southwest Center for Microsystems Education (SCME) University of New Mexico.2010. History of MEMS Knowledge Probe (Pre-Quiz) Participant Guide [En línea]. [http://scme-nm.org/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=63&Itemid=162](http://scme-nm.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=63&Itemid=162)

-Spark, Doug. The Coming of High Volume MEMS Manufacturing in China. Presentación Hanking Electronics- Shenyang, Liaoning, China 2011 [En línea]. [http://www.semiconwest.org/sites/semiconwest.org/files/docs/Doug%20Sparks\\_Hanking%20Electronics\\_post.pdf](http://www.semiconwest.org/sites/semiconwest.org/files/docs/Doug%20Sparks_Hanking%20Electronics_post.pdf)

-Stevenson-Yang, Anne y Zhang, Jun. “La política industrial china en la electrónica y sus implicaciones para el comercio de México”. En Dussel Peters, Enrique (Coordinador), 2007. “Oportunidades en la relación económica y comercial entre China y México”, CEPAL.

-ST Microelectronics. Company Profile [En línea]. [http://www.st.com/web/en/resource/corporate/company/company\\_presentation/profile.pdf](http://www.st.com/web/en/resource/corporate/company/company_presentation/profile.pdf)

-Stokes, Mark. 2009. China’s Evolving Conventional Strategic Strike Capability. The anti-ship ballistic missile challenge to U. S. maritime operations in the Western Pacific and beyond. Project 2049 Institute [En línea]. [http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=stokes%20mark%2C%202009.%20%E2%80%9Cchina%20B4s%20evolving%20conventional%20strategic%20strike%20capability.%20the%20anti-ship%20ballistic%20missile%20challenge%20to%20u.%20s.%20maritime%20operations%20in%20the%20western%20pacific%20and%20beyond&source=web&cd=1&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fproject2049.net%2Fdocuments%2Fchinese\\_anti\\_ship\\_ballistic\\_missile\\_asbm.pdf&ei=oejMTvaJFO2aiAe5z-TpDg&usg=AFQjCNGCBWqlDe\\_-Y-wt936V1fJEhHGwMw&cad=rjt](http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=stokes%20mark%2C%202009.%20%E2%80%9Cchina%20B4s%20evolving%20conventional%20strategic%20strike%20capability.%20the%20anti-ship%20ballistic%20missile%20challenge%20to%20u.%20s.%20maritime%20operations%20in%20the%20western%20pacific%20and%20beyond&source=web&cd=1&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fproject2049.net%2Fdocuments%2Fchinese_anti_ship_ballistic_missile_asbm.pdf&ei=oejMTvaJFO2aiAe5z-TpDg&usg=AFQjCNGCBWqlDe_-Y-wt936V1fJEhHGwMw&cad=rjt)

- Sturgeon, Timothy. 2000. How Do We Define Value Chains and Production Networks?. Massachusetts Institute of Technology Background Paper Prepared for the Bellagio Value Chains Workshop September 25 – October 1, 2000; Rockefeller Conference Center, Bellagio, Italy. MIT IPC Globalization Working Paper [En línea]. [http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCQ\\_QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F227518028\\_How\\_Do\\_We\\_Define\\_Value\\_Chains\\_and\\_Production\\_Networks\\*%2Flinks%2F02bfe50dc6ffd924f0000000&ei=OnUeVK\\_WBImPyATPz4HoCw&usg=AFQjCNFJhsrs4zKsich4nLSfbByT19Mhw&bvm=bv.75775273,d.aWw](http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCQ_QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F227518028_How_Do_We_Define_Value_Chains_and_Production_Networks*%2Flinks%2F02bfe50dc6ffd924f0000000&ei=OnUeVK_WBImPyATPz4HoCw&usg=AFQjCNFJhsrs4zKsich4nLSfbByT19Mhw&bvm=bv.75775273,d.aWw)

-Sturgeon, Timothy. 2002. Modular Production Networks: A New American Model of Industrial Organization. Industrial and Corporate Change, vol. 11, no. 3 [En línea]. [http://www.soc.duke.edu/sloan\\_2004/Papers/ICCNov02Sturgeon.pdf](http://www.soc.duke.edu/sloan_2004/Papers/ICCNov02Sturgeon.pdf)

-Sturgeon, Timothy. 2006. “Modular Production’s Impact on Japan’s Electronics Industry.1 Chapter Two in Recovering From Success: Innovation and Technology Management in Japan. Edited by D. Hugh Whittaker and Robert Cole Oxford University Press,

forthcoming. MIT Industrial Performance Center or the Massachusetts Institute of Technology [En línea]. <https://ipc.mit.edu/sites/default/files/documents/06-001.pdf>

-Svoboda, Elizabeth. 2009. Michelle Khine, 32. En MIT Technology Review, Innovators under 35 [En línea]. <http://www2.technologyreview.com/tr35/profile.aspx?trid=764> [Consulta: 20/10/2013]

-TechTarget network. Manufacturing ERP [En línea]. <http://searchmanufacturingerp.techtarget.com/definition/manufacturing-execution-system-MES>

-Teece, David J. 1986. Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy [En línea]. <http://www.mbs.edu/home/jgans/tech/Teece-1986.pdf>

-Tejeda Canobbio, Enrique. 2009. Tesis para la obtención del grado de doctor: La propiedad como una institución transicional: China y la industria electrónica. Facultad de Economía, UNAM.

-The Economist. Innovation in Asia, Trading Places. China is about to overtake Japan in patent applications. En The Economist-September 30, 2010 [En línea]. <http://www.economist.com/node/17151211>

-The Economist. From Brawn to Brain, Innovation in China. En The Economist-March 10, 2012 [En línea]. <http://www.economist.com/node/21549989>

-The Economist. How innovative is China? Valuing patents. En The Economist, January 5, 2013 [En línea]. <http://www.economist.com/news/business/21569062-valuing-patents>

-The Economist. The party's over. But if you want to go to the after-party, it's in Asia". En The Economist, January 11, 2014 [En línea]. <http://www.economist.com/news/science-and-technology/21593407-if-you-want-go-after-party-its-asia-partys-over>

-The Economist. China's economy. In three parts. En The Economist ; 25 January, 2014 [En línea]. <http://www.economist.com/news/finance-and-economics/21594999-some-chinese-economic-indicators-are-moving-right-direction-others-are?zid=306&ah=1b164dbd43b0cb27ba0d4c3b12a5e227> ).

-Toledo Patiño, Alejandro. 2009. Nanotecnología: la economía del conocimiento diminuto. En Dabat Latrubesse, Alejandro y Rodríguez Vargas, José de Jesús Coordinadores. Globalización, Conocimiento y desarrollo. Tomo I. UNAM.

-Torreón Yuste, Jesús Óscar. 2011. Tesis de licenciatura: Diseño, fabricación y caracterización de un sensor de caudal para aplicaciones PCB-MEMS. Departamento de Ingeniería Electrónica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería-Universidad de Sevilla [En línea]. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4966/fichero/e.+Tecnologia+MEMS.pdf>

-Tronics website. Tronics Bets on High Growth of the Chinese MEMS Business and Creates “Chinatronics”. Mayo 21, 2012 [En línea]. <http://www.tronicsgroup.com/tronics-bets-on-high-growth-of-the-chinese-mems-business-and-creates-chinatronics-2/>

-UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [En línea]. <http://www.unesco.org/new/es/unesco/>

-UNESCO Science Report 2010. The Current Status of Science around the world [En línea]. <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001898/189883E.pdf>

-UNESCO. Informe de la UNESCO sobre la Ciencia 2010 [En línea]. <http://www.unesco.org/new/es/unesco/>

-Valenti Nigrini, Giovanna (coordinadora), 2008. Ciencia, tecnología e innovación. FLACSO.

-Van Heeren, H. y Salomon, P. 2007. “MEMS Recent Development and Future Directions”. Electronics Enabled Products Knowledge Transfer Network [En línea]. <http://www.lboro.ac.uk/departments/mm/research/IPM-KTN/HTML/index.html> [Consulta: 6/05/2013]

-Vázquez Álvarez, Jorge Rodrigo. 2010. Tesis: Diseño de un dispositivo electromecánico para medir presión intraocular utilizando tecnología MEMS. UNAM [En línea]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1233/Tesis.pdf?sequence=1>

-Vernon, Raymond. 1966. International Investment and International Trade in the Product Cycle. En The Quarterly Journal of Economics, Vol. 80, No. 2, pp. 190-207 [En línea]. <http://bev.berkeley.edu/ipe/readings/International%20Investment%20and%20International%20Trade%20in%20the%20Product%20Cycle.pdf>

-Vernon, Raymond. 1979. The Product Cycle Hypothesis in a New International Environment. En Oxford Bulletin of Economics and Statistics, vol. 4, issue 4, pages 255-267 [En línea]. [http://teaching.ust.hk/~mgto650p/meyer/readings/2/08\\_Vernon1979.pdf](http://teaching.ust.hk/~mgto650p/meyer/readings/2/08_Vernon1979.pdf)

-Wadhwa, Vivek. Why China's Chip Industry Won't Catch America's. En BloombergBusinessweek Global Economics, September 3, 2009 [En línea]. [http://www.businessweek.com/globalbiz/content/sep2009/gb2009093\\_559266.htm](http://www.businessweek.com/globalbiz/content/sep2009/gb2009093_559266.htm)

-Wadhwa, Vivek. China Could Game the U.S. in Intellectual Property. En BloombergBusinessweek Technology, January 10, 2011 [En línea]. [http://www.businessweek.com/technology/content/jan2011/tc2011017\\_509416.htm](http://www.businessweek.com/technology/content/jan2011/tc2011017_509416.htm)

-Wadhwa, Vivek and Jain, Sonali and Saxenian, AnnaLee and Gereffi, G. and Wang, Huiyao, The Grass is Indeed Greener in India and China for Returnee Entrepreneurs: America's New Immigrant Entrepreneurs – Part VI (April 8, 2011) [En línea]. [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1824670](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1824670)

-Watkins, Ralph. 2007. El reto de China para la manufactura mexicana. En Dussel Peters, Enrique (Coordinador), 2007. Oportunidades en la relación económica y comercial entre China y México. CEPAL.

-Wooldridge, Adrian, 2010. First break all the rules. The charms of frugal innovation. The Economist, April 15, 2010 [En línea]. <http://www.economist.com/node/15879359> [Consulta: 03/2022]

-World Semiconductor Trade Statistics. Historical Billings Report [En línea]. <https://www.wsts.org/Teaser-Left/Historical-Billings-Report> [Consulta: 01/12/2013]

-World Semiconductor Trade Statistics (WSTS) [En línea]. <http://www.wsts.org/content/search?SearchText=Historical+Billings+Report+1986-2013>

-Yang Chen, Richard Sanders and Jinmin, Wang. 2006. The commercialisation of Chinese universities and its effects on research capacity. UNESCO Forum on Higher Education, Research and Knowledge, November 29–December 1, 2006 <http://portal.unesco.org/education/en/files/51630/11634281145WangChen-EN.pdf/WangChen-EN.pdf>

-World Investment Report, 2005. Transnational Corporations and the Internationalization of R&D [En línea]. [http://www.unctad.org/en/docs/wir2005\\_en.pdf](http://www.unctad.org/en/docs/wir2005_en.pdf)

-Wooldridge, Adrian. The frugal revolution. This is an excerpt from MASTERS OF MANAGEMENT: How the Business Gurus and Their Ideas Have Changed the World—For Better and for Worse. © 2011 by Adrian Wooldridge. Reprinted by arrangement with HarperBusiness, an imprint of HarperCollins Publishers. En Reuters, January 17, 2012 [En línea]. <http://blogs.reuters.com/great-debate/2012/01/17/the-frugal-revolution/>

-WSTS Semiconductor Market Forecast Autumn 2012. World Semiconductor Trade Statistics [En línea]. <https://www.wsts.org/PRESS/Recent-News-Release> [Consulta: 04/01/2013]

-WSTS FORECASTS SEMICONDUCTOR MARKET TO RECOVER IN 2013 AFTER SLIGHT DECLINE IN 2012. World Semiconductor Trade Statistics [En línea]. [http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCQ\\_QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.wsts.org%2Fcontent%2Fdownload%2F2560%2F17291&ei=8zseVLPxHsWzyATE9YLBQBQ&usq=AFQjCNHR0yLwIKC3ZfBb4Z0XnybW20Hx2A](http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCQ_QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.wsts.org%2Fcontent%2Fdownload%2F2560%2F17291&ei=8zseVLPxHsWzyATE9YLBQBQ&usq=AFQjCNHR0yLwIKC3ZfBb4Z0XnybW20Hx2A)

-Yole Développement. Abstract for MEMS Industry Group Global Press Summit, 2010. March 17, 2010 [En línea]. <http://www.memsiindustrygroup.org/files/public/Yole%20Developpement%20Globalpress%20Summit%202010.pdf> [Consulta: 01/05/2013]

-Yole Développement. In 2016, the MEMS market figures will be US\$19.6 B and 15.8B units respectively. For Immediate Release, September 22, 2011 [En línea]. [http://www.yole.fr/iso\\_upload/News/2011/StatusoftheMEMSIndustry\\_Sept%202011.pdf](http://www.yole.fr/iso_upload/News/2011/StatusoftheMEMSIndustry_Sept%202011.pdf)

-Yole Développement. Microfluidic materials, market and trends. Presentación en Lab On Chip World Congress, September 29, 2011 [En línea]. [http://www.i-micronews.com/upload%5Cpresentation%5CYD\\_LOAC\\_2011\\_Microfluidics\\_materials\\_market\\_and\\_trends.pdf](http://www.i-micronews.com/upload%5Cpresentation%5CYD_LOAC_2011_Microfluidics_materials_market_and_trends.pdf) [Consulta: 29/02/2013]

-Yole Développement top 30 MEMS ranking: STMicroelectronics challenges Texas Instruments for top spot. March 26, 2012 [En línea]. [http://www.memindustrygroup.org/i4a/doclibrary/getfile.cfm?doc\\_id=339](http://www.memindustrygroup.org/i4a/doclibrary/getfile.cfm?doc_id=339) [Consulta: 12/02/2013]

-Yole Développement. The growth of the MEMS Market. En SEMI Networking Day Italy, 20 Sept. 2012 [En línea]. <http://www.semi.org/eu/sites/semi.org/files/docs/Semi%20day%20-%20Yole%20LR%20presentation%20rev0.pdf> [Consulta: 12/03/2013]

-Yole Développement, The BioMEMS market will almost triple in size over the next five years..., 2013. Press Release [En línea]. [http://www.yole.fr/iso\\_upload/News/2013/PR\\_BIOMEMS\\_YOLE%20DEVELOPPEMENT\\_February2013.pdf](http://www.yole.fr/iso_upload/News/2013/PR_BIOMEMS_YOLE%20DEVELOPPEMENT_February2013.pdf) [Consulta: 27/03/2013]

-Yole Développement, Microsystem Device Market for Healthcare Applications. Overview of the technical & economic requirements for Healthcare Applications, February 2013 [En línea]. [http://www.i-micronews.com/upload/Rapports/Yole\\_BIOMEMS\\_2013\\_Sample.pdf](http://www.i-micronews.com/upload/Rapports/Yole_BIOMEMS_2013_Sample.pdf) [Consulta: 12/05/2013]

-Yole Développement For Immediate Release: Top 30 MEMS companies: STMicroelectronics and Robert Bosch rise to top of Yole Développement's annual ranking. April 12, 2013 [En línea]. [http://www.yole.fr/iso\\_upload/News/2013/PR\\_Top%2030%20MEMS%20Companies\\_Yole%20D%20E9veloppement\\_April%202013.pdf](http://www.yole.fr/iso_upload/News/2013/PR_Top%2030%20MEMS%20Companies_Yole%20D%20E9veloppement_April%202013.pdf) [Consulta: 12/05/2013]

-Zabala Martínez, José María. El desafío de la innovación abierta. En El País, 20/12/2009 [En línea]. [http://elpais.com/diario/2009/12/20/negocio/1261318472\\_850215.html](http://elpais.com/diario/2009/12/20/negocio/1261318472_850215.html) [Consulta: 22/04/2011]