



PROGRAMA DE BECAS CIUDAD DE MÉXICO-CHINA 2011

**BIOCHIP PARA DETECTAR TUBERCULOSIS COMO MÉTODO
ALTERNATIVO DE DIAGNÓSTICO. BUSCANDO UNA POSIBLE
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA**

ANEXOS

Yalú Maricela Morales Martínez

yalumorales@yahoo.com.mx

Ciudad de México, 16 de Enero del 2012

ÍNDICE

Anexo I

1. NOTAS DE LOS ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA	3
2. NOTAS DE LOS OBJETIVOS	5
3. NOTAS DE LA METODOLOGÍA	7
4. NOTAS DE LOS RESULTADOS ESPERADOS	9

Anexo II

1.1 Introducción	11
1.2 Oportunidad de MEMS en China	13
1.3 Capacidades y fortalezas de I&D de los MEMS en China	14
1.4 Industria del Biochip en China	18
1.5 Programa Nacional de Investigación Básica 973 de China	19
1.6 Información de CapitalBio Corporation. National Engineering Research Center for Beijing Biochip Technology	20
1.7 Información del Center for Nano and Micro Mechanics (CNMM)	22
1.8 Información del MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University	26
2.1 Capacidades e infraestructura de MEMS en México	32
2.2 Información del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) de la UNAM	33
3.1 Conclusiones generales	41
3.2 Entrevistas realizadas que fueron relevantes para el proyecto y el resultado a destacar	43
Bibliografía	46

Anexo I

1. NOTAS DE LOS ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

1. Básicamente son *chips* actualmente llamados MEMS que tienen diversas aplicaciones (definición de Wilfrido Calleja, investigador en microelectrónica del INAOE), fabricados en 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; segundo, un transductor convierte aquellas fuerzas en señales eléctricas; y tercero, en respuesta a aquellas señales un actuador ejecuta una acción mecánica de uno u otro tipo. Los MEMS son micromáquinas, que van en tamaño desde el rango submicro métrico hasta el nivel de pocos milímetros. La función de los MEMS es medir variables térmicas, eléctricas, magnéticas, biológicas, etc., para efectuar una acción en un dispositivo mecánico y corregir alguna variable. *Lab-on-a-chip* es un sistema de análisis en miniatura que contiene canales de micro fluidos para permitir al diminuto líquido de gas ser separado y analizado por microdispositivos incluyendo bombas, válvulas, controladores de microfluidos y detectores. Estos diminutos laboratorios pueden ejecutar tareas tales como diagnóstico de enfermedades, pruebas genéticas y separación de células. Véase fuente:<http://www.memsiindustrygroup.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=3968>

2. En el caso de México de acuerdo a cifras del Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (CENAPRECE), en 2010 hubo 18, 848 casos nuevos de tuberculosis en todas sus formas (81.6% pulmonar, 1.6% meníngea, 5.7% ganglionar y el 11.1% restante en otras formas). Se registraron 668 casos nuevos en 2009 (Datos del Sistema Único Autorizado de Vigilancia Epidemiológica) en el Distrito Federal y de acuerdo a la Secretaría de Salud, en esta entidad en 2010 la tasa de incidencia de la tuberculosis fue de 8.8 personas por cada 100 mil habitantes.

3. El contenido esencial de la estrategia TAES radica en asegurar el acceso del personal de salud a entrenamiento adecuado para el diagnóstico y tratamiento de la tuberculosis; diagnóstico pasivo de casos por medio de microscopía de esputo, disponibilidad de fármacos para el tratamiento, apoyo gubernamental y la administración supervisada de fármacos con el esquema estandarizado de fármacos de perspectiva de métodos eficientes de detección. En respuesta para detectar y diagnosticar con certeza amenazas

de epidemias futuras, el Instituto de Ciencia y Tecnología del DF y la Secretaría de Salud del Distrito Federal fundaron en 2009 el “Centro de Diagnóstico y Vigilancia Epidemiológica del DF”, que proyecta diseñar métodos de diagnóstico rápidos, eficientes y económicos, producir reactivos biológicos y promover la investigación en vacunas y medicamentos. Cabe señalar también que se estudiará qué causa la tuberculosis, el dengue y el VIH, para evitar un incremento de contagios en la ciudad de México (El Sol de México, 9/Dic/2009). Bajo este panorama, es bastante oportuno el diseño de un sistema de detección de la tuberculosis por el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) rápido y de menor costo para utilizarse in situ sin requerir de técnicos médicos entrenados. La utilización del biochip para detectar la tuberculosis generaría un ahorro directo en el uso de servicios de salud del Distrito Federal, que serían necesarios en caso de agudización de la enfermedad, crisis y recaída. Una posible contribución del CFATA con el Centro de Diagnóstico y Vigilancia Epidemiológica del DF abriría una brecha importante para dar cabida a metodologías con tecnología MEMS para la detección de otras enfermedades, como por ejemplo, el dengue. Y sin lugar a dudas contribuiría en beneficio a la preservación de la calidad de vida de los habitantes del Distrito Federal.

4. La infraestructura involucrada para procesar las baciloscopias, cultivos y pruebas de resistencia a fármacos requiere de laboratorios con estrictas medidas de seguridad biológica y personal técnico especializado. El costo económico que conlleva la tuberculosis en el sector salud además de los exámenes de laboratorio, honorarios médicos, costo-día cama por hospitalización en caso de agravamiento de la enfermedad, etc., abarca aspectos del paciente que se reflejan en una menor calidad de vida y el estigma de la enfermedad con sus consecuentes repercusiones (despido laboral y aislamiento social).

5. En la parte bioquímica se ensaya con un modelo de diagnóstico que utilizara una muestra de sangre del paciente y a través del polímero conductor polianilina, que tiene la propiedad de cambiar su conductividad y color (cuando la polianilina es conductora se torna verde pero cambia a azul cuando no lo es), se determinara la presencia de la bacteria. El reto será inmovilizar la muestra de sangre con antígenos dentro del polímero conductor e indagar como cambia de color. El diagnóstico de polianilina es de alta sensibilidad. Véase fuente: <http://www.dicyt.com/noticias/investigadores-de-juriquilla-disenan-un-biochip-para-diagnosticar-tuberculosis>

6. Se ha formado el Comité Técnico Nacional 421 del Biochip de la Administración de Normalización de China, el cual es una organización técnica profesional dedicada a la elaboración de normas nacionales para los productos, aplicaciones y métodos de los biochips. El Comité se acopla al “Estatuto de los Comités Nacionales de Normalización de la República Popular China”. Su fundación es un indicativo del rápido desarrollo de la industria del biochip en China y la necesidad de regular la seguridad y estandarización de productos y pruebas del biochip. Véase fuente: www.capitalbio.com/node/408

7. China y la India están concertando fusiones y adquisiciones con empresas transnacionales a nivel mundial en la industria farmacéutica. Estas empresas están compartiendo tecnologías e información biológica que habrían permanecido inaccesible en pasadas décadas y se ha convertido como parte de estrategia importante la subcontratación de investigación en estos países. Aunque probablemente la propiedad intelectual clave no esté a su alcance, estos países 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 tomarían años desarrollar (Pete Engarding y Ben Rissing, “*Big Pharma’s R&D Booster Shot*”, *BusinessWeek*).

2. NOTAS DE LOS OBJETIVOS

8. La transferencia tecnológica, se entiende como el proceso de intercambio de nuevos conocimientos y tecnología, desde el entorno científico al productivo (vertical) y/o dentro del entorno productivo (horizontal), para su utilización en la creación y desarrollo de productos y/o servicios viables comercialmente.

9. De acuerdo al ingeniero Huafeng Liu (participante de las conferencias de CHINANO 2011 en Suzhou, China) en términos de un prototipo, las foundries no servirían para el asesoramiento y producción de un prototipo, porque necesitan de la producción de lotes para obtener ganancias. Entonces para resolver problemas de diseño o de procesos es más recomendable recurrir a algunas pequeñas compañías o institutos. J. Sasserath y D. Fries explican además, que los diseñadores de BioMEMS y microfluidos no tienen el amplio rango de herramientas de modelado, simulación y diseño de los otros dispositivos MEMS, dependiendo más de los resultados empíricos para finalizar el diseño y fabricación del dispositivo. También el costo de estos dispositivos es más sensitivo que los MEMS a

base de silicio, ya que comparativamente los lotes a pedir enfrentan el reto de fabricar a bajo costo en pequeñas cantidades. La capacidad de fabricación de BioMEMS y micro fluidos debe incluir: la habilidad de manejar procesos no estandarizados, no substratos de silicio; rápidas capacidades de prototipo y bajo costo de operación. La clave del éxito en la fabricación comercial es la habilidad de hacer fotolitografía sin máscara. La combinación de la flexibilidad de este proceso con otras normas técnicas de procesamiento de película delgada ha conducido a la fabricación óptima de BioMEMS y micro fluidos.

10. La empresa *CapitalBio Corporation* fue fundada en el año 2000 por *Tsinghua University, Huazhong University of Science and Technology, Chinese Academy of Medical Sciences and Academy of Military Medical Sciences.*, la cual ha comercializado un biochip para la tuberculosis con un método de detección basado en la reacción en cadena de polimerasa diferente al que propone el CFATA, cuyo método de diagnóstico “pretende combinar la acción de los lípidos naturales que reaccionan ante el bacilo de la tuberculosis cambiando de color, con los sistemas micro-electromecánicos”. Parte constitutiva de esta empresa es “*The National Engineering Research Center for Beijing Biochip Technology*”, que funge como centro de I&D realizando investigación y desarrollo de varios tipos de biochip, microsistemas integrados, bioensayos, bioinformática y equipo e instrumentos de precisión. China podría ofrecer mejores condiciones de costo que Estados Unidos, dado que se quiere tener un impacto a grandes públicos.

11. A grandes rasgos se puede decir, que estos proyectos se empataran según las capacidades específicas e intereses en común en que puedan coincidir las líneas de investigación de cada equipo de investigación de cada país, por ejemplo, el CFATA está desarrollando el diseño de un BioMEMS para detectar tuberculosis y el “*MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University*” ha desarrollado un sistema de centrifugación microfluídica en el chip que ha sido exitosamente aplicado en el enriquecimiento de células sanguíneas y separación de partículas de tamaños diferentes, etc. En este caso podría experimentarse con este sistema para probar su efectividad en la parte del BioMEMS donde se encuentran los canales microfluídicos para la muestra de sangre, etc.

3. NOTAS DE LA METODOLOGÍA

12. Se contactó a la empresa *CapitalBio*, y a los centros de investigación *Center for Nano and Micro Mechanics, Tsinghua University*, y *MEMS Research Center. Institute of Microelectronics, PekingUniversity*.

El *Center for Nano and Micro Mechanics, Tsinghua University*, a través del Subdirector Francois Grey, contestó que su institución no tenía competencia en el área de BioMEMS, pero me enlazó con el Dr. Mike Fisher, Director de Desarrollo de Negocios de *Bio Nano Consulting (BCN)*, una empresa del *Imperial College and University College London*. BNC provee acceso a la experiencia e instalaciones de dos universidades, incluyendo al *London Centre for Nanotechnology*. *Bio Nano Consulting* es una consultoría enfocada comercialmente, la cual se dirige a los problemas técnicos de la industria utilizando tecnología y expertos de clase mundial. Se especializa en temas que interconectan a la biología y la nanotecnología. *Bio Nano Consulting* fue fundada en 2007 conjuntamente entre “*Imperial College London y University College London (UCL)*” y tiene acuerdo a nivel de servicios con *School of Pharmacy, University of London y The National Physical Laboratory (NPL)*.

Ofrecen el asesoramiento del Prof. Tony Cass del *Imperial College* que es conocido por trabajar en el desarrollo de sistemas de diagnóstico médicos. Su interés a este proyecto se ha manifestado al ofrecer una teleconferencia por Skype para discutir las necesidades del diseño del biochip desarrollado por el CFATA. También ofrecen firmar un acuerdo de confidencialidad de no divulgación.

Véase fuente: www.bio-nano-consulting.com

13. Se proponer un Memorando de Entendimiento (MOU), que es un primer acercamiento formal expresa la intención de establecer relaciones positivas entre dos instituciones. Manifiesta una voluntad general de explorar posibilidades de cooperación entre ambas entidades en un futuro cercano. No implica compromisos concretos. Algunas universidades llaman a este tipo de acuerdo carta de intención. Suele ser firmado por los rectores en ocasión de la visita oficial a una institución de educación superior extranjera. Debe considerarse sólo como un contacto inicial, para continuar luego con la concertación de convenios específicos de colaboración. Como mínimo debe incluir los siguientes elementos: la identidad y localización de ambas instituciones; las líneas de cooperación potencial expresadas en términos muy generales; la intención de las instituciones involucradas de continuar explorando las posibilidades de intercambio y del

financiamiento necesario; la aclaración de que el documento no implica ningún compromiso legal o económico; la vigencia del memorando; y la designación de los funcionarios u oficinas responsables en cada institución por el manejo de futuros convenios (ANUIES, Glosario de Términos Vinculados con la Cooperación Académica).

Su estructura básica consiste por lo tanto en:

1. Introducción	Descripción de los organismos que están firmando el M.O.U. En este caso el CFATA y la Institución de Investigación China.
3. Definiciones	Glosario de los términos empleados (intercambio académico, proyecto de investigación conjunta, etc.)
4. Principios	Principios básicos que orientan el M.O.U.
4. Objeto	Casos en que el M.O.U. podrá ser utilizado
5. Solicitudes de asistencia o información	Aspectos formales de la solicitud
6. Informaciones espontáneas	Cambio de informaciones sin el M.O.U (normalmente informaciones de naturaleza pública)
7. Usos permitidos de las informaciones	Define los fines de utilización de las informaciones
8. Confidencialidad	Prohibición de divulgación de informaciones no públicas a terceros
9. Costos de investigación o asistencia	Posibilidades de cobro cuando el levantamiento de las informaciones involucre costos substanciales
10. Vigencia	Normalmente, a partir de la firma y por plazo indefinido.
11. Personas de contacto	Personas a contactarse en caso de que se efectúe algún pedido pertinente al M.O.U.

14. Las Becas-Mixtas para Becarios CONACYT nacionales se otorgan para realizar “estancias en una institución extranjera, para para desarrollar una actividad académica como parte de sus estudios de posgrado o para concluir su proyecto de investigación o trabajo de tesis, en el marco y como parte del programa oficial de estudios de la institución en la que cursa el posgrado (doctorado, maestría o especialidad). Las becas de doctorado tendrá una duración efectiva de 1 a 12 meses” (CONACYT).

“Durante el tiempo de vigencia de la beca mixta, el CONACYT cubrirá:

- El monto de manutención por \$15,000 M.N., mensualmente, por ejemplo, es el que aplica en Becas del año 2011-2012, que resulta de sumar el monto de manutención nacional mensual con un monto complementario de Beca Mixta.
- Apoyo mensual para compra de seguro médico por \$670 M.N.
- Apoyo por única vez para gastos de transportación por \$6,000 M.N.

- Se necesita “contar con un programa de trabajo, calendarizado, avalado por su tutor nacional y su cotutor en la institución extranjera receptora. Así como la aceptación oficial de la IES/CII extranjera donde se realizará la estancia” (CONACYT).

15. Estas actividades de enseñanza e investigación podrían incluir:

- Intercambio recíproco de estudiantes.
- Intercambio recíproco de académicos o personal docente
- Desarrollo conjunto de proyectos de investigación.
- Sistema de información conjunta. Intercambio de publicaciones, informes y otros tipos de información académica.
- Organización de Seminarios (Dos por año: uno en México y otro en China)
- Elaboración de documentos en temas específicos de forma conjunta.
- Comisión de intercambio. Departamentos internos en cada institución que se constituyan como nexos para entablar todo lo referente a la relación internacional, es decir, empatar tiempos en cuanto a los ciclos escolares en el que se realizara el intercambio de estudiantes y profesores, sistemas de teleconferencias para fortalecer el intercambio de información en proyectos conjuntos de investigación, etc.

5. NOTAS DE RESULTADOS ESPERADOS

16. Desde el prototipo a la manufactura es importante que los grupos del diseño y los ingenieros del desarrollo del dispositivo trabajen conjuntamente. Sería ideal que desde el desarrollo del prototipo, incluyendo el empaque y la prueba se realice con una empresa y sus socios. La fabricación del piloto podría ser completada con foundries locales. Además que para reducir el costo de la fabricación de gran volumen sería recomendable realizarse en las instalaciones de los socios. Debe considerarse de igual forma, el costo del empaque de un MEMS que puede oscilar del 30 al 90% del costo final del dispositivo. Es interesante considerar que se puede reducir el ciclo de prototipos usando un software de análisis múltiple (termal, tensión/esfuerzo, deformación, alta frecuencia, vibración, etc.). Sería ideal, la posible asociación estratégica con una compañía que contara con la infraestructura adecuada para comercializar este dispositivo en el mercado asiático.

17. En diferentes partes de México se han identificado varias compañías en diferentes campos de especialidad y trabajo con necesidad de incorporar tecnología MEMS en sus

productos y servicios. Entre éstas pueden citarse en específico en la Ciudad de México, las compañías incorporadas a la AERI-MEMS: Bio-Chips SA de CV, México, DF así como compañías de productos farmacéuticos y de biotecnología; las compañías incorporadas a la AERI-SAQ (Sector Aeronáutico Querétaro), entre ellas Bombardier de Canadá; las compañías incorporadas a la AERI-CTIA (Consortio Automotriz), incluyendo VW, y Bosch, las compañías incorporadas a la AERI-Electrodomésticos, en la cual está MABE, importante compañía mexicana. En estas industrias, los MEMS pueden integrarse para la optimización de sus productos y sistemas. Por otra parte, algunos de los sectores gubernamentales y paraestatales en México pueden ser apoyados en la renovación de sus esquemas de trabajo. Por ejemplo, si se logra fomentar un grupo de trabajo en MEMS-radio frecuencia (RF-MEMS), se podrán desarrollar proyectos que apoyen las actividades de las Secretarías de Comunicaciones y Transportes (SCT), de Comercio (SC) y de Economía (SE). Se puede introducir una importante aplicación de RF-MEMS que es la identificación RF (RF-ID) de automóviles y transportes de carga en las carreteras mexicanas, en los puertos marítimos, etc., ya que MEMS es una tecnología básica para todo tipo de comunicaciones. PEMEX, CFE son otros sectores fácilmente identificables como beneficiarios de éste proyecto inicial, donde MEMS puede jugar un papel importante para el desarrollo de sensores de gases, sensores de alta presión, sensores de flujo en ambientes corrosivos, sensores inerciales para monitoreo de equipos, sensores químicos, etc. (La identificación específica de las necesidades industriales y de otros sectores se ha planteado claramente en el “Establecimiento del Programa Nacional para el Diseño y Fabricación de MEMS” propuesto por el Dr. Horacio Estrada, Dr. José Mireles, Dr. Luis A. Villa, Roberto S. Murphy, Alfonso Torres y Pedro J. García).

Anexo II

1.1 Introducción

La importancia del espectro de tecnologías a escala micro¹ y/o nano² radica en su irrupción dentro de un conjunto variado de industrias (entre ellas la industria electrónica) 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), inteligentes³, multifuncionales⁴ y compatibles con el medio ambiente. En particular, los sistemas micro-electro-mecánicos o MEMS han impactado de forma importante el desarrollo científico y tecnológico, encontrándose actualmente presentes en diversas aplicaciones, funcionando como componentes integrales en las bolsas de aire de los autos, las pantallas giratorias de los teléfonos móviles de última generación, en sistemas de control de una variable como regulación de temperaturas de riego, caducidad de algún alimento, emisión de gases, etc. Esta tecnología ha mejorado y optimizado sustancialmente a los sistemas de transporte, comunicaciones, electrónicos, médicos, y mecánicos, así como a muchos sistemas en los campos energéticos y biológicos. El principal atractivo de la tecnología MEMS⁵ radica en la reducción del consumo de energía

¹ La microtecnología es la tecnología que nos permite fabricar cosas en la escala de un micrón, el cual equivale a una millonésima de un metro o para darse una idea más clara, una milésima parte de un milímetro. Esta es una escala en la que se trabaja cuando se construyen dispositivos como memorias, circuitos lógicos y de computación. Tal fue el caso de los dispositivos en la configuración de la computadora Pentium que en 1995 alcanzaban tamaños de un tercio de micrón o 350 nanómetros, trabajando en la actualidad con estructuras de 100 nanómetros. (Carletti, 2002).

² Se define como nanociencia al estudio de los fenómenos y manipulación de los materiales a escalas atómicas, moleculares y macromoleculares, mientras que la nanotecnología se delimita al diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas para controlar la forma y el tamaño a escala nanométrica. El nanómetro es la medida que equivale a una milésima de micrón o una milmillonésima parte de un metro (Delgado, 2008:23).

³ 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 podrían ser los robots que imitan a los insectos o pájaros utilizados para explorar el espacio, localización y tratamiento de materiales peligrosos, vehículos aéreos no tripulados (Antón, Silbergliitt y Schneider; 2001).

⁴ Un ejemplo de multifuncionalidad, podrían ser los MEMS y *lab on chip*, sistemas que combinan muchas funciones. Otro ejemplo de ello, sería 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).

⁵ Los métodos de fabricación MEMS (micro) y nanotecnológico son altamente dependientes (la distinción entre los dos no es tan clara) incluyendo por ejemplo, litografía de dispositivos y grabado

eléctrica y térmica, sus pequeñas dimensiones, alto desempeño, integración con la electrónica, fácil adaptación e integración a los sistemas actuales, además de prolongar la vida del producto y eventualmente la reducción del costo⁶. En la esfera académica, los investigadores están investigando el desarrollo y aplicaciones de materiales de detección y actuación. Los desarrolladores de productos y procesamientos están inventando nuevas formas de incorporarlos en la fabricación de dispositivos. Y las empresas privadas orientadas al mercado están incorporando MEMS dentro de productos comerciales. En base a un informe sobre las tendencias en la investigación de nano y micro tecnologías, se indica que la presencia de la Tecnología MEMS en China data de más de una década y actualmente hay 140 grupos conduciendo investigación en relación con MEMS (3000 investigadores en total) y 50 grupos enfocados específicamente en MEMS (1452 investigadores en total). En lo que respecta a la ciudad de Beijing existen 13 locaciones que se dedican a la investigación de esta tecnología, entre las que se encuentran *Tsinghua University*, *Peking University*, *CAS (Chinese Academy of Sciences)* y *CETC (China Electronics Technology Group Corporation)*, denotándose también en esta ciudad una tendencia a la industrialización y comercialización de MEMS con posibles resultados en los próximos cinco años (Comentario en la entrevista realizada en Septiembre del 2011 con la Dra. Haixia Zhang del MEMS Research, Institute of Microelectronics, Peking University).

Mientras tanto la aplicación de micro/nano tecnologías entre las cuáles la tecnología MEMS incursiona con profundo impacto en la electrónica, permite la reducción de chips/biochips⁷. Desde los años 90s el desarrollo de estos dispositivos se impulsaron gracias a la conjunción de los avances tecnológicos de la bioquímica y los semiconductores. Entre sus variadas aplicaciones, el diagnóstico clínico y detección de microorganismos ofrece a su vez la captación de información genética en poco tiempo,

a escala micro o nano unido en un semiconductor o material biológico. Se espera que los métodos de fabricación nanotecnológica que involucra deposición, crecimiento o tecnologías de auto-ensamble (colocación del átomo o molécula en el lugar y posición deseada), abata considerablemente los costos de producción de los dispositivos MEMS.

⁶ Un ejemplo de esto, son los sensores de presión que han evolucionado positivamente en capacidad, exactitud y respuesta a la frecuencia, disminuyendo su costo de mil dólares en 1960 a dos dólares en 2006. Véase fuente: www.uacj.mx/.../Propuesta_fordecyt_MEMS_May-09.pdf

⁷ Un biochip es un dispositivo a pequeña escala, análogo a un circuito integrado (microchips de computadoras) ensamblado de grandes moléculas orgánicas (como las proteínas) y usado para analizar moléculas orgánicas asociadas con los organismos vivientes, con una amplia variedad de funciones para la medicina y la agricultura y que están propensos a convertirse en el tratamiento de elección para el médico del siglo 21, porque son capaces de realizar millones de reacciones biológicas en milésimas de segundos, análogos a los circuitos de computadoras que realizan millones de operaciones matemáticas en segundos (Mercado, 2010)

que permitirá elaborar vacunas, medir la resistencia de cepas infecciosas e identificar mutaciones que experimentan algunos genes (Mercado, 2020). Bajo esta perspectiva, China tiene la percepción de que las tecnologías implementadas en el chip podrían revolucionar el campo médico con herramientas económicas y de fácil manejo, por lo que las medidas gubernamentales se han enfocado en atraer científicos chinos con experiencia en el exterior principalmente en compañías estadounidense, ofreciendo altos salarios, fuertes fondos de inversión y otros beneficios. Se espera que en poco tiempo China se convierta en un líder de la comercialización de los biochips analíticos⁸

1.2 Oportunidad de MEMS en China

De acuerdo a la opinión de Wenbin Ding, analista de la consultoría francesa Yole Développement, la industria de los MEMS en China se encuentra aún en una etapa temprana, las casas de diseño y las tecnologías aún no son lo suficientemente maduras. El gobierno respalda la investigación y el desarrollo de los MEMS, sin embargo, tomara algún tiempo a los jugadores chinos obtener experiencia en el diseño de productos MEMS y ganar acceso al mercado. Algunos sectores de menor categoría como los sensores de presión se han desarrollado bastante bien en China pero los dispositivos de mayor complejidad son escasos. Los jugadores chinos han recibido fuerte inversión del gobierno chino y se han posicionado en el mercado interno, por ejemplo, la primera compañía de giroscopios, *Senodia Technologies* anunció el inicio de la producción en masa con la colaboración de TSMC, cuyo mercado tiene como objetivo la electrónica de consumo, juegos y teléfonos celulares. *AAC Technologies* por otro lado, espera ganar más participación en el mercado de los micrófonos MEMS y desarrollar otros productos.

Aunque la tecnología de los MEMS está lista, la parte de los procesos y software esta poco desarrollada, sin embargo, hay campos interesantes en China, como el caso del servicio de foundries en el que compañías como SMIC, ASMC, CSMC y otras, están activamente desarrollando sus negocios de MEMS y esperan buenos resultados en el 2012. Otra noticia alentadora es la enorme demanda en el mercado de uso final en China, ya que muchos fabricantes de sistemas grandes están haciendo su ensamble y empaque en China, convirtiéndose en una ventaja la producción de MEMS en áreas locales que cumplan los requerimientos y necesidades de estas compañías. Paralelamente, China está ofreciendo bajos costos de manufactura, cuyo personal científico y de ingeniería cotiza en una sexta o décima parte en comparación a sus homólogos en Europa, Estados

⁸ Véase fuente: http://www.nature.com/nbt/journal/v19/n1/full/nbt0101_12b.html

Unidos y Canadá. Además de que en China se presenta 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

1.3 Capacidades y fortalezas de I&D de los MEMS en China

De acuerdo a un reporte elaborado por Sun Lining⁹, los sistemas electromecánicos o MEMS conforman una industria de alta tecnología que involucra un amplio rango de disciplinas, perfilándose en un futuro cercano en una industria estratégica de profundo impacto en el sector automotriz, electrodoméstico, meca trónica y el área militar. Desde el décimo plan quinquenal en China se contempló particularmente su importancia dentro del Plan 863¹⁰. De hecho la investigación en China de esta tecnología tiene su origen a partir de 1990, recibiendo explícitamente impulso 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. Después de una década de experiencia se ha acumulado conocimiento en campos tales como micro-sensores, micro-ejecutores, prototipos de sistemas micro, etc. De igual forma, su investigación se ha aglutinado alrededor de centros geográficos como el área Jing-Jin¹¹ que engloba a la Universidad de Tsinghua, Universidad de Peking, Instituto de Electrónica CAS, el Instituto de Investigación Treceavo del Ministerio de la Industria de la Información, Universidad NanKai, etc.; en la zona Este se encuentra el Instituto de Shanghai de Micro-sistemas e Información Tecnológica CAS, Universidad Shanghai Jiao Tong, Universidad

⁹ Es un investigador que forma parte del grupo de expertos en MEMS del Programa Nacional 863 de China.

¹⁰ 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, rayo láser, automatización, energía, nuevos materiales y el mar. “Un equipo de científicos decide la dirección general de investigación y un comité de especialistas determina los proyectos específicos. Este comité tiene la responsabilidad de estudiar los avances de la investigación científica internacional y presentar un informa anual sobre investigaciones en sus campos, de modo que se puedan fijar nuevos rumbos de investigación. Rasgo distintivo de este programa es que sus resultados pueden tener una rápida aplicación industrial” (Li, :253).

¹¹ Incluye la capital de China y una de las municipalidades de China, está localizado alrededor de la zona económica del Mar Bohai, disfrutando de grandes ventajas políticas y económicas. El área del golfo de Bohai cuenta con parques tecnológicos reconocidos, un destacable grupo de empresas privadas, zonas con más recursos humanos calificados y la base industrial más fuerte del país. Además incluye el centro de la política y cultura, puertos de mayor rango, grandes cantidades de recursos naturales y mano de obra abundante, barata y calificada. (Informe Económico del Golfo de Bohai, Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación de Barcelona. Véase fuente: www.cambrabcn.org/c/document_library/get_file?uuid).

de Fudan, Universidad de Shanghai, Universidad del Sudeste, Universidad de Zhejiang, Universidad de Ciencia y Tecnología de China, Universidad Xiamen, etc.; en el Noreste se localizan el Instituto de Investigación Cuarenta y nueve de Ministerio de la Industria de Información, Instituto Harbin de Tecnología, Instituto de Changchun de Óptica, Mecánica y Física, Universidad Dalian de Tecnología, Instituto Shenyang de Tecnología de la Instrumentación, etc.; en la zona Sudoestese ubican la Universidad de Chongqing, los Institutos Veinticuatro, Cuarenta y cuatro y Veintiséis de la Industria de la Información, etc.; en la zona Noroestese incluyen la Universidad de Xian´JiaTong, Instituto No. 618 del Ministerio de Aeronáutica, Instituto No. 771 del Ministerio de Astronáutica, etc.

En la construcción del desarrollo de habilidades de esta tecnología ha sido importante la fundación del Laboratorio Nacional de Fabricación de Micro /Nano Tecnologías en 1996, incrementándose de forma sustancial la investigación doméstica en MEMS. A este laboratorio se le dotó de la más avanzada maquinaria: la máquina STS de grabado, máquina Karlsuss diodo-foto-grabado / la máquina de vinculación común, máquina de enlace Karlsuss utilizada en silicio / unión de electrostática y silicio / pre-adhesión de silicio, LPCVD, moldeo por compresión, etc. Todo este equipo conforma una línea estandarizada de fabricación de MEMS, que se combina con otras instalaciones de fabricación micro electrónica y micro procesamiento de otras instituciones, que en el presente tienen el objetivo de estructurarse en un sistema a nivel nacional de fabricación estandarizada de MEMS. En relación a esta meta, la Universidad de Pekín ha desarrollado cuatro tipos de técnicas de fabricación de MEMS, introduciendo una muestra de un acelerómetro y proveyendo servicios de fabricación para instituciones domésticas de investigación de MEMS. Mientras tanto el Laboratorio de Maquinaria Micro/Nanométrica de la Universidad de Shanghai Jiao Tong tienen la capacidad de ofrecer servicio de microfabricación de material que no sea silicio, así como técnicas de manufactura básica para microestructuras usando tecnología LIGA, UV-LIGA, etc. En el Treceavo Instituto de Investigación del Ministerio de la Industria de la Información se ha hecho grandes progresos en la integración de procesamiento en silicio, al mismo tiempo han fabricado prototipos de micro acelerómetros y micro giroscopios. El avance que se ha logrado en China abarca áreas que van desde dispositivos de micro inercia, sensores micro mecánicos, biosensores y biochips, micro robots y sistemas de micro manipulación, hasta técnicas de fabricación para diversos materiales. Las condiciones técnicas existentes han formado un sistema continuo de diseño, fabricación, empaque y prueba de MEMS. A pesar de que en China se ha estructurado esta plataforma de tecnología

doméstica dispersa geográficamente por razones históricas, se reconoce que todavía existe un sesgo importante en términos de calidad, costo, ejecución y comercialización en comparación a los países desarrollados.

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 en técnicas claves y 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 enfocándose en dispositivos médicos, consumo de electricidad, electrodomésticos y otras aplicaciones. Abarcan en su plan para consolidarse en esta tecnología, principalmente las siguientes actividades:

- 1) Diseño de métodos y herramientas de MEMS, incluyendo técnicas CAD CAM, mecánica de MEMS y fabricación de materiales nano métricos.
- 2) Integración de otras técnicas de apoyo clave de base industrial de MEMS. Incluyendo maquinaria, empaque, prueba en línea, procesamiento y fabricación clave de equipo con activos de propiedad intelectual independiente.
- 3) Formación de la plataforma tecnológica para apoyar la investigación y desarrollo industrial de los MEMS y construir diseño, desarrollo de sistemas y fabricación de MEMS con estándares competitivos internacionales.
- 4) Construir un sistema de innovación combinando investigación y formando habilidades de diseño y fabricación de dispositivos médicos, consumo de electricidad, electrodomésticos y otras aplicaciones.

Ante el reto que esto significa se sigue una serie de mecanismos operacionales para lograr las metas de especialización en esta tecnología, que consiste en:

- 1) Concentrar la energía y unificar el liderazgo tratando de romper con las limitaciones del departamento y el distrito (se busca una cooperación regional), aplicando un intento de competencia y mejor selección, mientras se practican tareas y se distribuye fondos para proyectos que denotan ventajas y son asignados a grupos de expertos con énfasis en construir la base en materiales, diseño, procesamiento, equipo y fabricación. Se intenta establecer una red de fabricación avanzada y maquinaria básica, evitando la desventaja de repetir investigación y proyectos dispersos, con la idea de racionalizar recursos humanos, fondos financieros y equipo.

2) Establecer mecanismos de innovación, en el que se busca la combinación de investigación básica de MEMS con la investigación de procesos y equipo de esta tecnología orientada a la industrialización bajo la supervisión gubernamental y la atracción de inversiones locales y empresariales.

3) Respalda el desarrollo de recursos humanos al atraer talentos domésticos y del extranjero, con mecanismos de apoyo gubernamental 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, fabricación, y equipo de MEMS, explotando aquellas técnicas con derechos de propiedad intelectual independientes.

Por otro lado cabe mencionar de forma especial, que en el marco de seguridad nacional China se ha introducido la aplicación de la tecnología MEMS en el área militar desde 1986 bajo el auspicio del Programa 863 como respuesta a la iniciativa estratégica de defensa de 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 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 (Stokes, 2009:3-21). 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: 22).

1.4 Industria del Biochip en China

La industria del biochip involucra un amplio rango de disciplinas, tales como las ciencias biológicas, tecnologías de la información, microelectrónica y micromecánica. Con características de alto rendimiento, miniaturización, automatización y conveniente costo, los biochips emergen con potencial impacto en la investigación de las ciencias biológicas, diagnóstico médico, descubrimiento de medicamentos, monitoreo de seguridad en alimentos y agricultura. Desde 1997 se ha reconocido la importancia de la industria del biochip en China a partir del consenso para la estrategia de desarrollo económico en el encuentro en Xangshan. El Ministerio de Ciencia y Tecnología incluyó a la industria del biochip junto a la genómica funcional como uno de los doce programas clave con prioridad en recibir fondos estatales. Desde 2002 se incorporó formalmente dentro de los proyectos de alta tecnología 863 y 973 apuntando al desarrollo comercial, y teniéndose cuidado en la regulación de los derechos de propiedad intelectual. Los fondos privados y de la industria en este sector son aún limitados por la falta de conocimiento especializado y la desconfianza de la inversión a largo plazo, pero se espera esto cambie en pocos años por la oportunidad enorme que representa el mercado chino (Chao Chen y Ning Dan, 2002).

La investigación sobre el biochip en China sigue las tendencias y mantiene el paso del occidente. El gobierno chino ha seguido la estrategia de combinar las fortalezas de áreas científicas relacionadas. Se han establecido tres centros de investigación a nivel nacional: “*The National Engineering Research Center for Beijing Biochip Technology*” (NERCBBT), el cual es una filial de la empresa *CapitalBio*, Es un centro con ambiciosos programas de investigación y desarrollo en microarrays, chips micro-fluidicos (con una fuerte base tecnológica al respecto) y equipo relacionado, haciendo significativos progresos en chips activos¹²; “*The Shanghai Engineering Center for Biochip*”, filial del *Shanghai Biochip Co.*,

¹² Un chip activo es un transpondedor con batería (este es un dispositivo utilizado en comunicaciones espaciales para adaptar la señal satelital entrante/saliente a la frecuencia de los equipos en banda base). Una vez que el transpondedor entra dentro del campo magnético de la antena empieza a enviar una serie de señales a la antena con una velocidad significativa de hasta 0.01 segundos. Véase fuente:http://test.championchip.com/index.php?option=com_content&view=article&id=23:chips-passive-and-active&catid=35:timing&Itemid=66

Ltd. (SBC) fue establecido con once diferentes institutos, universidades y compañías de capital de riesgo con el objetivo de comercializar los logros de la investigación en el área médica usando tecnologías del biochip. Se centran en desarrollar plataformas para desarrollar biochips, han comercializado chips ADN para los estudios de expresión genética y diagnóstico médico; y “*The National Engineering Research Center of Miniaturized Detection System*” dentro del “*Biochip Research and development Center of Northwest University and Shaanxii Lifegen Co.*”, en Xian. En este centro confluyen cuatro universidades y tres compañías de biotecnología formando un equipo de científicos emprendedores con experiencia industrial del occidente. Se concentra en el desarrollo de plataformas para biochips, biosensores y sistemas de micro-análisis aplicadas a medicina, farmacéutica y medio ambiente. Existen otras universidades que prometen resultados interesantes, tal es el caso del Laboratorio de la Universidad del Sudeste en el cual se desarrolla una nueva técnica de impresión molecular utilizada para la síntesis in situ de chips de alta densidad. Los centros nacionales de investigación se apuntalan como los grandes desarrolladores de plataformas para la investigación y comercialización de los biochips. La mayoría de las compañías se asocian o derivan de estos institutos de investigación o universidades, recibiendo un fuerte impulso con apoyos gubernamentales (Chao Chen y Ning Dan, 2002).

1.5 Programa Nacional de Investigación Básica 973 de China

El tema de salud en la población es una preocupación constante del Gobierno chino, principalmente desde la epidemia del síndrome respiratorio agudo severo (SARS, por sus siglas en inglés) y de la gripe aviar, por el daño imprevisible a la salud humana, y como factor desestabilizador a nivel económico y social. En consecuencia el gobierno chino considera relevante el desarrollo de sensores biomédicos para detectar los patógenos y evitar dentro de lo posible la dispersión de enfermedades epidémicas. Para esto se ha fusionado el conocimiento de varias disciplinas, informática, biología y nanotecnología con la finalidad de configurar sensores biomédicos necesarios para entender el efecto superficie/interface, líquidos polarizados e hibridación de moléculas, así como los principios de micro/nano fabricación. El estudio de sensores biomédicos de escala nano y micro se realizan en función de incluir el auto-ensamble de bio-moléculas en la interface de materiales sensitivos y de la señal eléctrica resultante, métodos y técnicas de micro/nano fabricación, integración y optimización de métodos de detección de ácidos nucleicos, proteínas y microbios patógenos. En conformación a este propósito el

Programa 973 de China busca la elaboración de sensores biomédicos óptimos mediante la tecnología MEMS y otras tecnologías micro/nano, para resolver los retos que implica: 1) los complejos procesos de detección; 2) el alto volumen de dispositivos que ejecuten una detección hipersensible; 3) el alto costo de fabricación de dispositivos; 4) la necesidad de capacidad y confiabilidad de los dispositivos y; 5) el desarrollo de nuevas tecnologías médicas para el diagnóstico remoto¹³. El programa abarca los siguientes proyectos en torno al desarrollo de nuevos dispositivos para la aplicabilidad en el área de salud:

Proyecto1: Reconocimiento Biomolecular y su conversión electrónica

Proyecto2: Métodos y principios de micro/nano fabricación

Proyecto 3: Estudio de sensores biomédicos ultrasensitivos

Proyecto 4: Optimización y sistemas de integración de sensores biomédicos micro/nano.

Proyecto 5: Estudio de detección hipersensitiva en las tempranas etapas.

Proyecto 6: Estudio de nuevas tecnologías para la detección sin invasión

1.6 Información de CapitalBio Corporation. National Engineering Research Center for Beijing Biochip Technology

CapitalBio junto con su filial *National Engineering Research Center for Beijing Biochip Technology* fueron fundados en el año 2000, siendo la Universidad de Tsinghua el principal inversor (39.84% de la inversión total) junto con otros nueve socios (el rango de participación oscila entre 4.25 a 8.1% entre universidades, compañías farmacéuticas y otros grupos de inversión). De igual forma ha recibido subsidios de la Comisión de Reforma y Desarrollo Nacional del Ministerio de Ciencia y de la Oficina Municipal de Beijing. Es una empresa líder de ciencias de la vida que desarrolla y comercializa soluciones del cuidado de la salud incluyendo un amplio rango de chips microfluidicos, biochips en base a micro-array, sistemas laboratory-on-chip, chips implantables, bioinformática, sistemas software de información médica, nanomateriales, bio-automatización y otras tecnologías dirigidas hacia las necesidades de salud humana.. Entre sus innovaciones se encuentra el chip de tipificación del genoma HLA (Antígeno del Leucocito Humano) y el mejoramiento con altos estándares de su tecnología, chips de diagnósticos para numerosas enfermedades, chips de prueba de seguridad de alimentos para antibióticos y patógenos transmitidos por animales de granja y aves de corral, y una variedad de chips de ADN basados en los array de perfiles de expresión genética y

¹³Véase fuente: <http://www.973.gov.cn/English/ReadItem.aspx?itemid=528>

genotipo para dilucidar la función de los genes en el hombre, animales, plantas y otros organismos.

CapitalBio ha desarrollado varios biochips avanzados utilizando tecnología microfluídica, tecnología de microprocesadores y tecnología electromagnética. Entre estas innovaciones se encuentra un dispositivo micromatrix autónomo totalmente integrado, un chip de medición electro-rotacional para la viabilidad de pruebas de sangre, un chip bio electrónico con electrodos de posicionamiento celular y electrodos de medición de señal para el monitoreo de redes neuronales, y un microchip de cromatografía de gases para varias aplicaciones. Las innovaciones de la empresa en la técnica de escáner de láser cofocal de microarrays, LuxScan™ 10K y AlphaScan™ han sido comercializados y aceptado por clientes en todo el mundo, incluidos numerosos laboratorios clínicos en Asia, Europa, América y Medio Oriente.

CapitalBio tiene 24,000 metros cuadrados de instalaciones para investigación y producción, las cuales están certificadas por ISO 9001 e ISO 13485. Alberga cerca de 500 personas entre personal de administración, investigación, desarrollo y manufactura. Sus productos cuentan con los apropiados certificados CE y TUV/GS de Europa y Estados Unidos. La compañía ha establecido relaciones estratégicas con prestigiosas compañías de Estados Unidos y Europa, así como distribuidores y comerciantes de todo el mundo. Hasta ahora han presentado 120 patentes, las cuales en su mayoría ya han sido expedidas.

CapitalBio tiene dos subsidiarias: CapitalBio International establecida en San Diego, California y CapitalBio Hong Kong, China. Ha creado también dos compañías afiliadas para la temprana transferencia de propiedad intelectual. AVIVA Biosciences en San Diego California que desarrolla y comercializa tecnología. Y Chipscreen Biosciences, una compañía biotecnológica localizada en Shenzhen, China para el descubrimiento y desarrollo de pequeños fármacos moleculares.

El Centro de Investigación de Ingeniería Nacional para la Tecnología del Biochip de Beijing (National Engineering Research Center for Beijing Biochip Technology) es un centro nacional clave para la investigación avanzada en el biochip y tecnologías relacionadas, además de constituir el basamento de I&D de la empresa CapitalBio. Ubicado en el parque de ciencia y tecnología de Zhongguancun en el noroeste de Beijing, sus instalaciones abarcan 24,000 metros cuadrados disponibles para avanzadas investigaciones y desarrollos de varios tipos de biochips desde chips de ADN y proteínas,

microsistemas integrados, bioensayos, bioinformática, e instrumentos de precisión y equipo. También cuenta con la certificación ISO, la norma GMP de fabricación para biochips de diagnóstico y los kits de reactivos relacionados, así como sofisticadas instalaciones de micro fabricación para chips microfluidicos basados en silicio y plástico. Este centro ha desarrollado y comercializado numerosos productos avanzados tales como lectores de biochips o escáner, arrayers de chips, kits de reactivos relacionados, software para aplicaciones en descubrimiento de investigación, diagnóstico clínico y pruebas de bioseguridad. Muchos productos han sido ampliamente adoptados en Austria, Finlandia, Francia, Alemania, Corea, España, Suecia, Tailandia, Reino Unido y Estados Unidos. Como resultado de su fructífera labor en I&D tiene 60 patentes chinas, 17 en el exterior, más 10 pendientes de patentar. Este Centro ha recibido numerosos premios del Gobierno Central, Ministerios Chinos y del Gobierno Municipal de Beijing, incluyendo e prestigioso premio a la Innovación Tecnológica.

1.7 Información del Center for Nano and Micro Mechanics (CNMM)

Este centro pertenece a la Universidad de Tsinghua y tiene como objetivo impulsar un ambiente multidisciplinario de investigación. El CNMM tiene claro como enfoque la mecánica como competencia clave, y las novedosas aplicaciones multidisciplinarias de la mecánica en áreas tales como nanomecánica y biomecánica. Este centro no sólo apunta hacia la innovación en el ámbito académico, sino que también activamente impulsa el uso práctico y la explotación comercial de las ideas y métodos desarrollados por los investigadores. Además el CNMM está interesado en reclutar estudiantes e investigadores del extranjero, con la finalidad por otro lado de fortalecer asociaciones con centros multidisciplinarios alrededor del mundo.

(1) Proyectos de Investigación

- Mecánica del Grafeno¹⁴: comportamiento fundamental del grafeno como el vínculo electro-mecánico, incluyendo el pliegue mecánico, superlubricidad, transferencia y esfuerzo (tensión) de ingeniería del grafeno.
- Dispositivos de Grafeno: por ejemplo, ensamble y caracterización de sensores, transistores, estructuras híbridas, etc.

¹⁴ Es un estrato atómico del carbón de atractivo interés para los científicos por sus propiedades electrónicas y químicas que ha sido atribuido a la presencia de ondas.

- Mecánica de nanotubos de carbono: apunta al desarrollo de dispositivos electromecánicos basados en las oscilaciones de los nanotubos de carbón. La metodología usada en este proyecto es una combinación de fabricación de dispositivos electromecánicos a nanoescala, la caracterización in situ en microscopios electrónicos y modelado teórico.
- Lubricación térmica activada del grafito: tendría un impacto importante en el diseño de muchos dispositivos electromecánicos a nivel micro y nano tal como en la cabeza del disco duro.
- Giroscopio a base de grafito.
- Mecánica de nanocompuestos de polímeros estructurados jerárquicamente.
- La computación para el proyecto de agua limpia: se investiga como el agua fluye en nanotubos usando una computadora con la técnica basada en la simulación conocida como dinámica molecular. El objetivo es investigar como los nanotubos y otros nanomateriales porosos pueden ser utilizados para construir una generación nueva de filtros de agua económicos y mejorar el sistema de desalinización. Este proyecto es financiado por IBM' *World Community Grid* y otros voluntarios.
- Flujo en grafeno: se genera el interés en este tema por el rápido transporte del agua en canales (nanotubos de carbono, etc.).
- Flujo en redes nano: el proyecto apunta a entender la relación entre la estructura y densidad de una red con su permeabilidad, selectividad y fuerza mecánica.
- Evaporación a nanoescala: su estudio es de gran importancia para actividades biológicas así como sistemas nanofluídicos. La investigación se dirige a establecer las bases fundamentales para el desarrollo de dispositivos de baja energía pero alta velocidad en la evaporación con temperatura ambiente del agua de mar.
- La investigación sobre las medidas precisas de las propiedades mecánicas de micro / nanométrica: este proyecto tiene como objetivo nuevos principios de prueba e instrumentos en micro/ nanoescala, para integrar las funciones de medición de deformación y el movimiento en plataformas de caracterización (AFM, SEM y OM) y filtrar efectivamente los efectos de múltiples factores en la medición de propiedades mecánicas.

(2) Instituciones con las que trabajan conjuntamente

- a) Departamentos de la Universidad de Tsinghua¹⁵: Ingeniería química, Ingeniería mecánica, Ingeniería física, Ingeniería y ciencia de materiales, Física, Instrumentos de precisión y Mecánica.
- b) El CNMM se encuentra asociado con el “*Department of Microelectronics of Peking University*” y “*National Center for Nanoscience and Technology of China*”¹⁶.
- c) Otros socios estratégicos son “*Institute for Advanced Study, Nanchang University*” y “*London Center for Nanotechnology*”.

(3) Directivos del CNMM

a) Profesor Zheng Quanshui. Director del CNMM

<http://cnmm.tsinghua.edu.cn/channels/67.html>

Zheng Quanshui¹⁷ obtuvo su doctorado en mecánica de sólidos en la Universidad de Tsinghua y es actualmente profesor de esta universidad, fue además profesor visitante del Departamento de Mecánica de la Universidad de Nottingham en el Reino Unido; Instituto de Materiales de *Aachen University of Technology* en Alemania; Instituto de Mecánica de Grenoble, Francia; Ingeniería Mecánica de la Universidad de Ingeniería de California, Riverside campus; Departamento de Ciencias de la Ingeniería en la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda; Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Cheng Kung en Taiwan, el Departamento de Ingeniería Mecánica del *Polytechnic University* en Hong Kong, etc. Ha publicado más de 100 artículos en revistas y dirigido más de 20 proyectos de investigación. Su grupo de investigación está dedicado en comprender, descubrir e inventar materiales y dispositivos a escala nano y micro que tengan propiedades nuevas en mecánica, física y/o biología a través de estudios multidisciplinarios.

b) Prof. Francois Grey, Subdirector del CNMM

¹⁵ La universidad de Tsinghua es renombrada por su fortaleza en ingeniería, más de la mitad de la facultad están en ingenierías y se organizan en 20 departamentos de ingeniería.

¹⁶ Es una institución cofundada por la Academia China de Ciencias y el Ministerio de Educación. Como subsidiaria de la Academia China de Ciencias que recibe financiamiento con el estatus de una entidad legal sin fines de lucro. El objetivo de esta institución es construir una plataforma tecnológica pública y base de investigación para la nanociencia, se ofrece equipo de vanguardia y está abierto a usuarios domésticos y extranjeros. Véase fuente: <http://english.nanoctr.cas.cn/au/bi/>

¹⁷ El Profesor Zhen Quanshui descubrió la auto-retracción de las láminas del grafito por la fuerza Van der Waals. La estructura del movimiento plano puede ser hecho por micro-fabricación, lo que permite reducir el costo de manufactura de los dispositivos de vibración.

<http://cnmm.tsinghua.edu.cn/channels/68.html>

Francois Grey es profesor de Computación Científica Distribuida, ha ayudado a establecer el nuevo campo de ciudadanos de ciberciencia en China, a través del proyecto de cómputo del Agua Limpia en colaboración con “*World Community Grid*” de IBM. Los ciudadanos de ciberciencia involucran la adaptación de retos científicos, de modo que voluntarios no expertos pueden contribuir al poder de la computación y capacidad cerebral para resolverlos de una forma rápida, de bajo costo y confiable. Sus intereses actuales incluyen aplicaciones de ciudadanos del ciberespacio a la nanotecnología, biotecnología y *geotagging* (la práctica de agregar información geográfica a fotografías digitales, típicamente la latitud y longitud de la locación). Antes de unirse al CNMM Prof. Francois Grey fue un profesor visitante y experto internacional ayudando con la Academia China de Ciencias (ACC) a establecer un proyecto voluntario de cómputo en el Instituto de Física de Alta Energía de la ACC en Beijing. Es actualmente un miembro del *Shuttleworth Foundation* para promover los ciudadanos del ciberespacio y es coordinador del Centro de Ciudadanos del Ciberespacio, una asociación entre CERN (*European Organization for Nuclear Research*) y el *Institute for Training and Research and the University of Geneva*.

c) Profesor Yao Cheng. Subdirector del CNMM**<http://cnmm.tsinghua.edu.cn/channels/69.html>**

Yao Cheng es ingeniero mecánico, el cual obtuvo su doctorado en Física en *Department of Physics and Astronomy, Ruhr-University, Bochum, Germany*. Se enfoca en los conceptos de nano-giroskopios y su producción tecnológica. Es de su interés el rápido progreso de la electrónica del grafeno que piensa acelerara la comercialización del *chip* del grafeno. En cuanto al nano-giroskopio se espera reduzca el costo de producción para la integración de sensores en múltiples direcciones¹⁸.

d) Profesor Zhihong LI**<http://cnmm.tsinghua.edu.cn/channels/150.html>**

Li Zhihong es profesor de microelectrónica y de los sistemas micro/nano-electromecánicos (MEMS / NEMS). Se graduó en la Universidad de Pekín y en 1997 recibió el doctorado en microelectrónica y electrónica de estado sólido. De 2000 -2004 realizó una estancia en la Universidad de California en Davis y fue profesor visitante en la

¹⁸Por ejemplo, el amplificador con tubos al vacío es más barato que el amplificador hecho con *micro-chips*. El costo del micro-giroskopio en el presente esta en 100 dólares, se espera que cuando su precio disminuya tenga más aplicaciones.

Universidad de Cornell. Ha participado en la teoría, diseño y procesamiento de MEMS / NEMS, liderando proyectos dentro del programa "863", de la Defensa Nacional y la Fundación Nacional de Ciencias Naturales, además de haber publicado más de 100 trabajos. Actualmente dirige un programa de investigación con un equipo de expertos para establecer la investigación básica en instrumentos y tecnología para dispositivos micro-nano.

1.8 Información del MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University

Fundado desde 1996, "*MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University*", es parte del "Laboratorio Nacional de Ciencia y Tecnología en Micro/Nanofabricación", dedicado fundamentalmente a la investigación aplicada en la micro/nano fabricación sobre la base de silicio, micro/nano sensores y actuadores, y sistemas integrados micro/nano. Desde hace cinco años el centro ha recibido 150 apoyos importantes desde el Programa Nacional de Ciencia y Tecnología, 863 (Programa Nacional de I&D de Alta Tecnología¹⁹), 973 (Programa Nacional de Investigación Básica²⁰), NSFC (*Natural National Science Foundation of China*²¹), programa de laboratorios y muchas otras fuentes. El centro facilita investigaciones en tecnologías de micro fabricación, dispositivos micro maquinados, diseño de microsistemas y tecnologías NEMS (*Nano Electro Mechanical System*). Tres módulos de procesamiento de MEMS han sido desarrollados y estandarizados. Sin embargo, el centro promueve fundamentalmente investigaciones de MEMS incluyendo metodología de diseño, modelado y simulación de procesos, integración monolítica de MEMS y Circuitos Integrados, nano fabricación y dispositivos nuevos de MEMS. El centro de investigación de MEMS consiste en 14

¹⁹ El objetivo es lograr capacidades de innovación en campos estratégicos de alta tecnología (biotecnología, tecnología avanzada agrícola, tecnología avanzada de materiales, fabricación avanzada y tecnología de la automatización, tecnología de la energía y tecnología de recursos y medio ambiente) para independizarse de las obligaciones financieras de la tecnología extranjera y escalar una posición de equilibrio en el espacio mundial. Véase fuente: www.foroconsultivo.org.mx/eventos_realizados/.../chen_peihou.pdf

²⁰ El objetivo de este programa es apoyar científicos destacados para que realicen investigación de frontera en áreas de agricultura, energía, información, recursos naturales y ambiente, población y salud, materiales, es decir, aquellos temas relacionados con el desarrollo económico y social de China. Véase fuente: www.foroconsultivo.org.mx/eventos_realizados/.../chen_peihou.pdf

²¹ Organismo formado por 89 miembros de la Academia de Ciencias China que promociona la reforma de la ciencia y la tecnología y su apropiación en China. Su sistema de fondos se enfoca en tres categorías: promoción de programas de investigación, fomento de talento y construcción de infraestructura para investigación básica. Véase fuente: <http://www.nsf.gov.cn/Portal0/default106.htm>

miembros de la facultad, incluyendo 9 profesores de tiempo completo y 5 profesores asociados, además han colaborado en proyectos con otros centros y empresas a nivel nacional e internacional. El centro ha colaborado con empresas nacionales e internacionales para industrializar el desarrollo de sus tecnologías y dispositivos. *First MEMS Co., Ltd.*, ha sido un spin-off del centro y ha sido la primera compañía en aplicar MEMS para sensores de presión en producción en lotes en China.

Desde 1998 opera el Laboratorio Nacional de Tecnología Micro/Nano Fabricación, el cual esta acondicionado para un cuarto limpio de 9000 pies cuadrados y equipado con herramientas de vanguardia para Micro/Nano Fabricación y caracterización. Este laboratorio cuenta con dos sucursales, una localizada en la Universidad de Peking y la otra en la Universidad de Shanghai Jiaotong, en conjunto ha servido a más de 150 proyectos para 80 clientes domésticos e internacionales, con más de 1200 ejecuciones y 9900 obleas. Los dispositivos MEMS fabricados en el laboratorio son numerosos: sensores de presión, acelerómetros, giroscopios, capacitores ajustables, microrelay, switchs ópticos, micro-bombas, micro-boquillas, etc.

PROCESOS ESTANDARIZADOS

El Laboratorio Nacional de Tecnologías de Fabricación Micro/Nano ha dado paso a técnicas de fabricación clave, estableciendo fabricación de clase mundial y diseñando plataformas para MEMS en base a silicio, lanzando además al público tres procesos principalmente: Proceso SGADER- Silicon Glass Anodic-bonding Deep Etching Release (Grabado Profundo de Unión- Vidrio de Silicio Anódico); Proceso SSL- Surface Sacrificial Layer (Capas de superficie sacrificial); y Proceso MPRB-Membrane Piezoresistive Bulk (Membrana Piezoresistivo al por mayor); además de procesos de flujo (Proceso de Panal Vertical y Proceso SOI). Como el primer foundry científico para MEMS en base a silicio en China, el laboratorio provee servicios de fabricación de MEMS a clientes de todo el mundo.

CAMPOS DE INVESTIGACIÓN Y LOGROS

Las tecnologías de fabricación avanzada y diseño son fuertemente apoyadas en las investigaciones básicas y aplicadas de la teoría de los MEMS y sus dispositivos. En los últimos cinco años, el Centro de Investigación de MEMS ha emprendido 146 proyectos, incluyendo 973 proyectos nacionales, 863 proyectos de laboratorio clave, fundación de la

ciencia natural de China y proyectos del Gobierno Municipal de Beijing, así como del Ministerio de Educación. Han logrado significativos resultados en metodología de diseño de MEMS, modelado y simulación de procesos de MEMS, procesos de integración monolítica de MEMS, nanofabricación, MEMS ópticos, MEMS inerciales, MEMS RF y BioMEMS.

TÉCNICAS DE FABRICACIÓN CLAVE DE MEMS

- Técnicas Clave de Fabricación de Silicio. Para una tecnología de fabricación clave, DRIE, se resuelve el tema de rugosidad de superficie y efectos retardados y fabricación de estructuras 3D desarrolladas y técnicas de trinchera de relleno. Desarrollan también técnicas de anti-fricción estática y control de estrés para procesos de micro-maquinado de superficie.
- Proceso de Integración Monolítica de MEMS. El Centro de Investigación de MEMS ha realizado procesos de integración monolítica y desarrollado muchos procesos. El IBMURIT (*Integrated Bulk Micromachinig Utilizing Refilled Isolation Trench*) utiliza zanjas de aislamiento de alta relación para realizar aislaciones eléctricas y conexiones mecánicas entre estructuras mecánicas y circuitos. Desarrollan también procesos de integración post-CMOS basados en sustratos SOI, y fabricación monolítica, array integrado de micro-cantilevers. Los procesos integrados en un sustrato de silicio de cristal han sido usados para fabricar medidores de flujo integrados y sensores de presión.
- Empaquetamiento de tecnologías. Incluye empaque a nivel de chip, empaquetamiento a nivel de dispositivo, empaquetamiento a nivel de tabla con aplicaciones en varios dispositivos (micro-acelerómetros, micro-giroskopios, sensores de presión, dispositivos microfluídicos y biomédicos, dispositivos MEMS RF). Nuevas estrategias han sido desarrolladas para hermético en base a silicio-vidrio-silicio y vidrio-silicio-vidrio, empaquetamiento de oblea a nivel de plástico y empaquetamiento de películas delgadas SiC; entre otras técnicas.
- Tecnología de Nano Fabricación. Algunas tecnologías nuevas espaciadoras, incluyendo tecnologías espaciadoras cruzadas y superpuestas, han sido desarrolladas para lograr fabricación paralela masiva de varias nano estructuras (nano-red, nano-punto, nano-aguja, nano-pilar, etc.). Actualmente el tamaño de las nano estructuras pueden alcanzar 20-100 nanómetros. Estas tecnologías pueden dar paso a la limitación de la tecnología de fotolitografía convencional por medio

de la elaboración colateral. Una serie de tecnologías de nanofabricación basadas en el haz de iones enfocados, incluyendo grabación profunda, deposición asistida han sido bien desarrolladas. Han sido los primeros en proponer la tecnología FBI de introducción de estrés y los enfoques de ingeniería de 3D nano ensamble.

- MEMS SiC. El proceso PECVD SiC ha desarrollado propiedades mecánicas y eléctricas de la película delgada SiC la cual puede ser modificada y controlada por parámetros del proceso y post-proceso. Basado en varias tecnologías, un resonador MEMS SiC y sensor de presión fueron fabricados para aplicaciones en medios ambientes extremos. El PECVD fue utilizado para cubrir sensores MEMS tradicionales, los cuales aumentan sus propiedades y rangos de funcionalidad.
- MEMS GaN. Para nuevos materiales, han desarrollado MEMS basados en GaN, realizando una técnica de liberación en seco para microestructuras GaN. Combinando las técnicas de grabado isotrópico y anisótropo, han desarrollado técnicas para liberar microestructuras GaN con corte sesgado mínimo lateral.
- Tecnologías de Fabricación para Polímeros. Esta tecnología tiene ventajas para los BioMEMS. El PMMA, PDMS y SU-8 basado en procesos de micromaquinados han sido desarrollados en el laboratorio para la fabricación y empaquetamiento de dispositivos BioMEMS. Los procesos de deposición y grabado de películas de parylene²² han sido desarrollados y utilizados para manufacturar dispositivos MEMS para un chip de retina artificial.
- Micro maquinado en Volumen de Titanio. El titanio tiene una serie de cualidades que lo hacen más atractivo que el silicio en ciertas aplicaciones: su inherente alta dureza de fractura sugiere alta durabilidad y resistencia al choque mecánico, la gran bio-compatibilidad lo hace el mejor candidato para aplicaciones en vivo; y el óxido nativo sobre titanio expuesto protege de medios ambientes extremos. Las tecnologías de micro maquinado en obleas de titanio de volumen ha sido desarrollado, incluyendo aspectos de Ti-DRIE, el grabado húmedo de titanio y pulido, enlace Ti-Si, y Ti-Vidrio, y fabricación de titanio estructurado, y nuevas aplicaciones de dispositivos son exploradas.

²² Es un polímero de material de revestimiento, utilizado para proteger uniformemente cualquier configuración de componente en diversos sustrato como metal, vidrio, papel, resina, plástico, cerámica, ferrita y silicio. Véase fuente: http://www.conformal-coating.com/parylene_coating.htm

TECNOLOGÍA DE DISEÑO DE MEMS

- Herramientas MEMS CAD: IMEE 1.0, fue desarrollada en 2003 y tiene la capacidad a nivel de sistema de MEMS, diseño, diseño de dispositivos y simulación, diseño de procesos y simulación, y diseño de capas.
- DRIE Simulador: RECIPE fue comercializado en 2005 por la empresa Intellisense como un módulo en Intelisuite 8.0 RECIPE, el cual tiene más de 30 clientes en todo el mundo.

DISPOSITIVOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS DE MEMS

- Sensores inerciales micro maquinados. Hasta ahora el Centro de Investigación de MEMS tiene la capacidad completa para diseñar, fabricar y probar sensores inerciales. Han desarrollado acelerómetros con diferentes estructuras y mecanismos de sensibilidad, tales como capacidad triaxial y acelerómetros piezo resistivos, etc., algunos de ellos han sido transferidos a la industria para su comercialización. Las investigaciones de los giroscopios datan desde 1998, se ha desarrollado junto a la Universidad de Tsinghua, un giroscopio de alta ejecución y logrado un sesgo de estabilidad mejor °/h. Han desarrollado recientemente un giroscopio de eje lateral el cual puede trabajar en la atmósfera. Estudian nuevos principios de funcionamiento de giroscopios y desarrollan un giroscopio de inyección de gas.
- BioMEMS. Microfluidicos y BioMEMS son temas clave en MEMS. Entre los desarrollos que han hecho, se encuentra una centrifugación microfluidica en el chip que se ha aplicado exitosamente en el enriquecimiento de células sanguíneas y separación de diferentes tamaños de partículas. La alta calidad de detección bioquímica ha sido lograda en un microcantiliver integrado monolíticamente con sus circuitos CMOS. Una estrategia de BioMEMS híbridos ha sido avanzado para ser parcialmente resuelto el problema del alto costo de manufactura de microfluídicos y BioMEMS. Basados en esa estrategia está siendo estudiado un chip de sangre PCR. Además están tratando de desarrollar micro dispositivos bio-implantables, así como resolver temas de transferencia de señal inalámbrica y energía.

MEMS ÓPTICOS

La capacidad de dispositivos MEMS ópticos integrados multifuncionales de operaciones simultáneas, como una variable de división de potencia óptica, encendido óptico y atenuador óptico variable ha sido propuesto. Se ha propuesto también el estudio de MEMS con imágenes IR sin refrigeración. Los procesos de capas de superficie sacrificial y de silicio de volumen fueron desarrollados para fabricar cantiliver basados en matrices de plano focal. Con un establecido sistema de lectura óptica, las imágenes térmicas del cuerpo de una persona fueron capturadas para demostrar la capacidad de imagen IR de FPA.

MEMS RF

La tecnología MEMS puede resolver muchos problemas intrigantes de la operación de sistemas de comunicación inalámbrica de alta frecuencia de frecuencias RF a microondas. Mediante el uso de tecnología de micro maquinado de superficie, micro maquinado de volumen, micro maquinado de volumen SOI y galvanoplastia, varios dispositivos MEMS RF han sido desarrollados en su laboratorios, tales como los condensadores ajustables, inductores Q, switch de bajo costo y relés, desfases, resonadores mecánicos de alta vibración Q a micro escala y filtros mecánicos de bajo costo. Su reducido tamaño y la integralidad con la tecnología de CI hacen posible en el futuro su alta ejecución en transmisores-receptores de un solo chip.

DISPOSITIVOS NANO

Mediante la combinación de la tecnología del espaciador cruzado y el micro maquinado de Si de volumen convencional han integrado exitosamente el nano pilar/aguja SiO/Si en micro cantiléver. Este tipo de prueba puede utilizarse en la extracción nano-cuantitativamente y transporte de algunas muestras de fluidos. Por medio de las tecnologías FBI de introducción de tensión y deposición PT, un inductor solenoide a nano escala fue exitosamente fabricado, a nivel experimental exhibe buena ejecución para potencial aplicaciones en circuitos analógicos y de radiofrecuencia.

OTROS DISPOSITIVOS MEMS Y APLICACIONES

Los sistemas de generación de micro poder que podrían reemplazar a las baterías convencionales reciben gran atención. Con la cooperación de investigadores de la Universidad Chongquin han estudiado el diseño y fabricación de MEMS electret²³ generadores de poder. Basados en la tecnología de la micro fabricación, ha sido lanzado desde el 2000 un proyecto de un detector de energía de partículas PIN.

2.1 Capacidades e infraestructura de MEMS en México

Su importancia se manifiesta en México 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 (sistemas electromecánicos) en México, con la participación de los sectores académico, empresarial y de gobierno. 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; caracterización²⁴ en la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Veracruzana; fabricación de prototipos en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica; encapsulamiento en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez; y por último las pruebas y validación²⁵ o certificación en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. De manera que se racionalizaran los recursos para conformar una infraestructura de colaboración nacional que eventualmente ejecutara todas las etapas que en la actualidad son realizadas casi en su totalidad en el extranjero con elevados costos²⁶.

Los centros de investigación de las universidades han jugado un papel fundamental en la Red, 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. En función de contribuir a la formación de recursos humanos en el diseño de MEMS, se ha implementado desde 2009 un programa llamado MEMS-México cuyo objetivo ha sido la difusión y asimilación del software SUMMIT-V de *Sandia National Laboratories* de Estados

²³ Físicamente significa una pieza permanentemente polarizada de material dieléctrico, análogo a un magneto permanente. Véase fuente: <http://www.wordreference.com/definicion/electret>

²⁴ Caracterización significa garantizar que los mecanismos diseñados para cada sistema microelectromecánico ejecuten sus funciones de manera correcta, bajo la simulación de las condiciones ambientales en las que trabajarían en su aplicación comercial o industrial. Véase fuente: <http://www.invdes.com.mx/suplemento-noticias/793-logros-de-la-unam-en-mems>

²⁵ Para la validación dimensional (calidad dimensional) y funcional (eficiencia mecánica y eléctrica) del producto se requiere de un laboratorio especial para legitimar bajo las normas nacionales e internacionales el cumplimiento de las mismas. Véase fuente: www.cmm.org.mx/.../Capacidades%20e%20infraestructura

²⁶ Véase fuente: <http://www.invdes.com.mx/suplemento-noticias/788-fumec-a-la-caza-de-expertos>

Unidos, como herramienta fundamental de diseño de los MEMS en varias universidades y centros de investigación. Como parte de este programa, el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicado en Juriquilla, Querétaro colabora estrechamente con el Centro Nacional de Metrología (CENAM²⁷) de Querétaro, en el estudio de polímeros y materiales aplicables en MEMS y Nanotecnología.

2.2 Información del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada(CFATA) de la UNAM

El Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) es un centro de investigación multidisciplinario perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México. El centro genera investigación científica básica de alto nivel y generación de tecnología original relevante de acuerdo a las necesidades regionales y nacionales. Tiene como objetivo constituirse en un polo de desarrollo regional por excelencia y establecer una estrecha vinculación con el sector productivo. Es por eso que cuenta con un sistema de gestión de la calidad certificado de conformidad con ISO 9001:2008.

Cuenta con dos departamentos de investigación:

- Nanotecnología. Estudio de materiales nanoporosos y catálisis, fibras ópticas de plástico, ondas de choque y sus aplicaciones.
- Ingeniería Molecular de Materiales. Generación de materiales con microestructuras específicas y propiedades impuestas por las necesidades actuales.

Además en el área de docencia ofrece:

- Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales
- Licenciatura de Tecnología.

(1) Personal Académico

(a) Departamento de Ingeniería Molecular de Materiales

²⁷ Institución donde se lleva a cabo el desarrollo de patrones de medición, así como el de micro sensores basados en estructuras MEMS, y donde se mantienen los patrones nacionales de medición, incluyendo las magnitudes dimensionales, magnitudes eléctricas (Volt y Ohm), magnitudes de fuerza, etc.



Dr. Luis Miguel Apátiga Castro

Doctorado Facultad de Ingeniería, UAQ (2000). Materiales Cerámicos (E), Depósito Químico en Fase Vapor (E), Estructura y morfología de películas delgadas (E). e-mail: apatiga@servidor.unam.mx.



Dra. María Concepción Arenas Arrocena

Doctorado CIE (Centro de Investigación de Energía)-UNAM (2007). Síntesis de polímeros conductores (E), Desarrollo de sensores piezoeléctricos para aplicaciones en MEMS (E). e-mail: mcaa@fata.unam.mx.



Dr. Víctor Manuel Castaño Meneses

Doctorado Facultad de Ciencias, UNAM (1985). Materiales nanométricos y estructuras: síntesis y caracterización (T y E), Materiales nanométricos: nanopartículas, nanotubos y nanocristales (T y E), Microscopía Tunel de Barrido (T), Óptica de haces (T). e-mail: meneses@servidor.unam.mx.
castano@fata.unam.mx castano@marta.phys.unt.edu



Dr. Miguel de Icaza Herrera

Doctorado Univ. Poitiers, Francia (1976). Álgebra lineal (T), teoría de grupos (T), análisis y teoría de funciones (T), teoría de la probabilidad, procesos estocásticos y estadística (T), técnicas computacionales (T), termodinámica (T), efectos de altas presiones y de ondas de choque en sólidos y líquidos (T). e-mail: lcaza@fata.unam.mx.



M.C. Alicia del Real López

Maestría en Ingeniería Química. Facultad de Química-UNAM(1986). Microscopía electrónica (E), polímeros: propiedades, reacciones y polimerización (E). e-mail: adelreal@fata.unam.mx



Dra. Miriam Rocío Estévez González

Doctorado Facultad de Ingeniería, UAQ. (2002). Materiales específicos: síntesis, tratamiento, prueba y análisis (E), cementos, cerámicas y composites refractarios (E), polímeros reforzados y polímeros-base composites (E), nanopartículas en polímeros (E). e-mail: miries@fata.unam.mx



Maestro en Ciencias Francisco Fernández Escobar

M. en C., Facultad de Ciencias-UNAM (1984). Instrumentación y electrónica, aplicaciones médicas de ondas de choque (E). e-mail: francisco@fata.unam.mx



Dr. Achim M. LoskeMehling (Jefe del departamento)

Doctorado CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California) (1994). Terapia sónica y ultrasónica/litotripsia. (E). Aplicaciones médicas de ondas de choque, cavitación acústica (E). e-mail: loske@fata.unam.mx



Ing. Adrián HendrikOskamVoorduin

Licenciado en Diseño Industrial por la Universidad Iberoamericana y la Escuela Nacional de Diseño del Instituto Nacional de Bellas Artes. Diseño de producto; Diseño gráfico y comunicación visual; Ingeniería de Producto; Desarrollo de proyectos hacia un desarrollo tecnológico y su transferencia al sector productivo; Desarrollo de infraestructura institucional para proyectos de investigación básica, aplicada y de desarrollo tecnológico. e-mail: aov@fata.unam.mx



Dr. Domingo Rangel Miranda.

Doctorado Facultad de Ingeniería-UNAM, (2003). Electric Variable Measure (E), Optoelectronic devices (E). e-mail: ranged@fata.unam.mx.



Dra. Ana Leonor Rivera López

Doctorado Facultad de Ciencias-UNAM (1996) Análisis de señales en espacio fase (T). e-mail: rivera@servidor.unam.mx



Dr. José Rogelio Rodríguez Talavera

Doctorado UAM (1987). Nuevos materiales: teoría, diseño y síntesis (T y E), materiales nanométricos y estructura: síntesis y caracterización (E), híbridos nanoestructurados: orgánico-inorgánicos (E), nanopartículas (E). e-mail: rogelior@servidor.unam.mx



Dra. Susana Vargas Muñoz

Doctorado UAM (2001). Métodos de síntesis de materiales y procesamiento de materiales (E), Síntesis Sol - gel (E), Protección contra corrosión (E), Polímeros: propiedades, reacciones, polimerización (E). e-mail: vmsu@servidor.unam.mx

(b) Departamento de Nanotecnología



Dr. Luis Miguel Apátiga Castro

Doctorado Facultad de Ingeniería, UAQ (2000). Materiales Cerámicos (E), Depósito Químico en Fase Vapor (E), Estructura y morfología de películas delgadas (E). e-mail: apatiga@servidor.unam.mx.



Dr. José Luis Aragón Vera

Doctorado CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California) (1990). Estructura y propiedades de cuasi cristales (T), formación de patrones en fluidos (T,E), formación de patrones biológicos y biología matemática (T). e-mail: aragon@fata.unam.mx



Dra. Genoveva Hernández Padrón

Doctorado UAM (2000). Polímeros y plásticos: hule, fibras sintéticas y naturales, materiales metálicos y órgano metálicos (E). e-mail: genoveva@servidor.unam.mx



M.C. Rosa María Lima García

Maestra en Química, Facultad de Química-UNAM (1993). Técnica. Química. e-mail: lima@fisica.unam.mx



Dra. Luz María López Marín

Doctorado en Bioquímica, Universidad Paul Sabatier, Toulouse, Francia, 1993. Inmunología de la tuberculosis y pared celular de micobacterias; identificación y aislamiento de micobacterias; Glicobiología de organismos patógenos. e-mail: lmlm@servidor.unam.mx



Dra. Beatriz Marcela Millán Malo

Doctorado Facultad de Ciencias-UNAM (2001). Estructura de líquidos (T), teoría y modelos de la estructura de líquidos (T), simulación de líquidos por computadora (T), teoría general de la ecuación de estado y equilibrio de fases (T). e-mail: bmillan@fata.unam.mx



Dra. María Antonieta Mondragón Sosa
Doctorado Facultad de Ciencias-UNAM (1983).
Espectroscopia infrarroja y Raman (E), desarrollo de
bioadhesivos (E). e-mail: Antonieta@fisica.unam.mx.



Dr. Mario E. Rodríguez García
Doctorado CINVESTAV (1995). Propiedades
termoelectrónicas de materiales, desarrollo y caracterización
de productos nixtamalizados (T y E). e.mail:
marioga@fata.unam.mx



Dr. Miguel Ángel Ocampo Mortera
Doctorado Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de
Querétaro. (2001). Fibras ópticas (E), modelamiento
estructural: modelos de adición simulación por computadora
(T), propiedades físicas de polímeros (T). e-mail:
oca@fata.unam.mx



Dr. Ramiro Pérez Campos (Director del CFATA)
Doctorado en Ciencias (Física), Universidad de Alberta
(1983). Cuasicristales; Compuestos intermetálicos; Corrosión
Microbiológica. e-mail: ramiro@fata.unam.mx



Dr. Rafael Quintero Torres (Secretario Académico)
Doctorado Universidad de Auburn (1994). (E) Fenómenos
ópticos ultrarrápidos, óptica no lineal y propiedades
electrónicas de la materia. e-mail: rquintero@fata.unam.mx



Dr. Eric Mauricio Rivera Muñoz (Jefe del departamento)
Doctorado Facultad de Ciencias-UNAM. (1997). Estructura de sólidos y líquidos: cristalografía (E), propiedades mecánicas y acústicas de la materia condensada (E), ciencia de materiales (T), aplicaciones interdisciplinarias de física (E). e-mail: erivera@servidor.unam.mx



Dr. Pedro Salas Castillo
Doctorado en Ingeniería (Materiales) Universidad Autónoma de Querétaro. Síntesis y diseño de catalizadores heterogéneos; Materiales mesoporosos, nanoestructurados y nanopartículas; Desarrollo de nuevos materiales catalíticos para la industria química y petrolera; Procesos catalíticos en la refinación del petróleo; Diseño, síntesis y desarrollo de nuevos materiales luminescentes. e-mail: psalas@fata.unam.mx



Química. Carmen Vázquez Ramos
Química. Facultad de Química-UNAM (1967). Ingeniería molecular de materiales. (E): análisis instrumental (térmico, cromatografía, absorción atómica, rayos X, microscopía,), síntesis de polímeros. e-mail: kamu@fata.unam.mx.

(2) Líneas de investigación

- Aplicación de la tecnología MEMS en bio-dispositivos para detectar enfermedades.
- Estudio y desarrollo de recubrimientos nanotecnológicos.
- Ingeniería molecular de materiales, orientada principalmente al desarrollo de materiales cerámicos, poliméricos y compositos: biomateriales, cementos y concretos, películas delgadas, fibras ópticas de plástico.
- El estudio de las aplicaciones de las ondas de choque a la medicina y a la química.
- Biomatemáticas.

- Desarrollo de modelos para predecir las propiedades físicas y químicas de los nuevos materiales.
- Físicoquímicas de alimentos nixtamalizados.

(3) Servicios al público

a. Proyectos de desarrollo tecnológico

- Desarrollo de nuevos materiales nanoestructurados.
- Transferencia de tecnologías en las áreas de materiales, bioingeniería e instrumentación.
- Asesoría y consultoría técnica.

b. Pruebas analíticas. Laboratorios certificados en ISO 9001:2008

- Análisis molecular de materiales por Infrarrojo y Raman,
- Tamaño de partícula por dispersión de luz,
- Análisis estructural de materiales sólidos por difracción de rayos X,
- Pruebas mecánicas de tensión, compresión y flexión para materiales, dureza, penetración y propiedades de textura para alimentos.
- Imágenes por microscopía electrónica de barrido y
- Microanálisis de elementos por espectroscopia de emisión de energía

c. Búsquedas de información científico-técnica

(4) Persona responsable del CFATA para la cooperación mutua con centros de investigación en China

Dr. Víctor Manuel Castaño

Doctor en Ciencias (Físico)

Universidad Nacional Autónoma de México

Puesto: Investigador Titular C y Director del CFATA

Departamento: Ingeniería Molecular de Materiales

Nivel SNI : 3

Tel: (442) 238 1151

castano@fata.unam.mx

meneses@servidor.unam.mx

Líneas de investigación

- Nanotecnología, nuevos materiales, óptica teórica, microscopía electrónica
- Estudio de la termodinámica de sistemas pequeños

- Aplicación de las álgebras de Lie a la descripción de sistemas ópticos
- Desarrollo de sistemas nanométricos
- Desarrollo de nuevos materiales: polímeros, cerámicos, metales e híbridos

3. 1 Conclusiones generales

1) Con el Programa Nacional 863 en China y el proyecto clave de MEMS se espera se realicen grandes avances técnicos que hagan frente a los problemas en procesamiento, equipo y sistema de aplicación de los MEMS. La estrategia a seguir ha sido concentrarse en la pequeña y mediana escala con el fin de que posteriormente se realice la industrialización en dispositivos tales como sensores de presión, acelerómetros, analizadores de gas, analizadores de composición química. Además de las grandes oportunidades que surgen en la industria automotriz, en la generación de electricidad doméstica, bioquímica, médica, control automatizado industrial, protección del medio ambiente, electrodomésticos, militar, etc.

2) Específicamente en el área médica las empresas biotecnológicas (en la que se incluye el sector del biochip) se pueden dividir en dos tipos de empresa: 1) El primer tipo consiste en empresas de propiedad estatal a partir de instituciones públicas de investigación²⁸. Reciben generosos apoyos gubernamentales, están bien equipadas, operan con una política favorable y tienen capacidad tecnológica avanzada. Sin embargo adolecen de estructuras de dirección inflexibles y relativo potencial innovador y 2) El segundo tipo de empresa es de origen privado establecido por investigadores de instituciones públicas o por profesionales chinos que retornan del extranjero. Este último grupo trae el conocimiento tecnológico y de dirección del extranjero que promete en convertirse en una fuerza impulsora importante. La mayoría de las compañías del biochip o laboratorios en China están enfocadas en la fabricación de microarray ADN (hoy en día el trabajo es estandarizado) utilizando equipo importado de Estados Unidos o Gran Bretaña. La previsión de éxito de la industria del biochip en China se cree puede lograrse por el desarrollo de la microelectrónica y semiconductores en Asia, y su fácil traslado a la

²⁸ Bajo la economía planificada de China los centros de investigación pública juegan un rol importante en la innovación de la ciencia. Hay una compleja estructura en el cual cada institución tiene una misión relativamente bien definida y se encuentran bajo el control de instituciones centrales y estatales incluyendo el Consejo de Estado, Ministerio de Defensa Nacional, Ministerio de Salud, Ministerio de Educación y la Academia China de Ciencias. Esta última institución involucra de forma preponderante investigación básica, otros centros conectados con ministerios o gobiernos locales enfocados en investigación aplicada.

biotecnología, Pero muchos ingenieros chinos recién ingresan a este campo sin experiencia en biología molecular y genética. Conscientes de eso el gobierno chino está tratando de atraer a científicos que hayan trabajado en empresas americanas (Robert Triendl, analista independiente).

3) China ha experimentado un rápido crecimiento que le favorece en la acumulación de enormes reservas externas, un contingente enorme de ingenieros y científicos²⁹, y cuenta con enormes subsidios gubernamentales a empresas de alta tecnología, así como respaldo de empresas transnacionales. Pero aún con todas estas ventajas no pareciera ser suficiente para crear exitosas industrias. Según Vivek Wadhwa³⁰ lo atribuye a varias razones: la pobre reputación sobre los derechos de propiedad intelectual limita la transferencia tecnológica por parte de las transnacionales; se tiene la percepción de que las empresas chinas en semiconductores diseñan con requerimientos comunes pero sin fuerza para producir significativos avances; aún con los programas de calidad de formación de los investigadores no cuentan con la consistencia experiencia histórica de negocios e investigación de otros países. La tendencia en China se dirige a la concentración de talento extranjero y doméstico en parques tecnológicos que quieren emular el modelo exitoso del *Silicon Valley*, y se observa (por la experiencia propia de haber asistido a las conferencias de CHINANO 20011 en Suzhou, China) un despilfarro enorme de recursos en complejos e instalaciones que parecen estar en desuso, mientras que se percibe de inmediato la actitud de los investigadores chinos provenientes de la academia en un despliegue incómodo del papel de emprendedor (modelo americano del científico innovador y empresario). Es notoria la diferencia con la actitud del ingeniero que ha salido a formarse en el exterior, que capta con mayor facilidad los códigos de comportamiento de un ejecutivo de empresa transnacional (apertura, cooperación, oportunidad de ampliar el mercado). Otro factor en desbalance es la competencia de los gobiernos locales por la infraestructura, conduciendo a un sobreinversión, se cita el ejemplo, de haber contratado a la empresa SMIC para construir y dirigir una planta de

²⁹ Tema polémico, ya que según un estudio sobre el sesgo de ingenieros graduados en Estados Unidos, China e India se descubrió varias inconsistencias en la contabilidad realizada por el Ministro de Educación Chino y la misma definición no estandarizada del término ingeniero chino que igual podía considerar un mecánico o técnico como ingeniero. Se incluía todos los grados relacionados a tecnología de la información y campos especializados en la construcción naval (Estudio realizado por Vivek Wadhwa, profesor visitante en la Universidad de California-Berkeley, investigador asociado a Comercialización de la Universidad de Duke).

³⁰ Vivek Wadhwa es un profesor visitante en la Universidad de California-Berkeley, investigador asociado a Comercialización de la Universidad de Duke.

chips, excediéndose la capacidad de China en este sector y manteniendo ociosas líneas de producción que podrían haberse utilizado en esfuerzos más productivos. Paradójicamente se plantea que pese a la cantidad de recursos disponibles e estos parques tecnológicos chinos, no es suficiente para replicar espontáneamente fuentes de creatividad e innovación.

4) Sin embargo, a pesar de las desventajas mencionadas en el punto 3, existen aspectos interesantes a destacar de la estrategia china, la cual establece dentro de su política económica una visión regida por la meta de satisfacer el mercado interno (que también enfrenta fuertes sesgos en la distribución del ingreso) y se concentra en innovaciones adaptadas ad hoc que cuentan en algunos casos con esquemas de consumo gubernamental; están enviando a sus ingenieros a formarse al exterior y estimulan la mentalidad de convertirse en emprendedores fundadores de su propia empresa, además de fomentarla repatriación de científicos, doctores, ingenieros e investigadores³¹, que han asimilado la cultura empresarial americana y saben cómo competir e innovar.

5) La empresa CapitaBio se enfoca en tecnologías del biochip activo y dispositivos microfluidicos para aplicaciones en detección y diagnóstico. Es una empresa reconocida internacionalmente que se ha posicionado en el exterior con la filial AVIVA Biosciences en San Diego, California la cual desarrolla y comercializa tecnología, así como con la fundación de Chip Screen Bioscience (Shenzen, cerca de Hong Kong). Es la empresa que parece cumplir con las instalaciones y capacidades para manufacturar el biochip desarrollado por el CFATA, y que cuenta con la infraestructura comercial para eventualmente comercializar este dispositivo en el mercado asiático.

3. 2 Entrevistas realizadas que fueron relevantes para el proyecto y el resultado a destacar

1) La entrevista realizada con el Director General de la empresa Softtek, Gustavo Carrillo que me dio una perspectiva general de la forma de hacer negocios en China y se ofreció a preguntar por mi parte a la empresa SMIC (*Semiconductor Manufacturing International*

³¹En un reporte de Vivek Wadhwa sobre este fenómeno en el que elaboro una encuesta junto a su equipo de Duke (Anna Lee Saxenian de la Universidad de California-Berkeley y Richard Freeman de la Universidad de Harvard) documenta que a pesar de que constituyen el 12% de la población de E.U., los inmigrantes iniciaron el 52% de las compañías tecnológicas en el *Silicon Valley* y contribuyen con más del 25% de las patentes globales. Ellos componen el 24% de la fuerza laboral de ingeniería y ciencia.

Corporation, empresa que ha trabajado directamente con esta empresa y de su entera confianza) el presupuesto del diseño del biochip para detectar la tuberculosis.

2) La entrevista realizada con el subdirector del CNMM (*Center for Nano and Micro Mechanics*) Prof. Francois Grey, a quién se expuso la propuesta de una cooperación mutua con el CAFTA (Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada) siendo muy receptivo para en un primer paso establecer un intercambio de estudiantes. El Dr. Castaño ya se comunicó directamente con él por e-mail y se obtuvo respuesta del Prof. Francois Grey para establecer un convenio de intercambio y cooperación. Además de haber enlazado al CFATA con el Dr. Mike Fisher de la empresa BioNano Consulting para una posible colaboración.

3) La entrevista con la Dra. Haixia Zhang, profesora del *MEMS Research Center, Institute of Microelectronics, Peking University*; Presidenta General del "*International Contest of Applications in Nano-micro Tech*" y Secretaría General del "*Chinese International NEMS Society*", a quién le expuse la propuesta para establecer una cooperación mutua con el CFATA, la cual me pidió que le enviara información más completa sobre el CFATA especialmente sobre los académicos.

4) La entrevista con la asistente de director Chen Ren, quién me pidió le enviara la información que le presente en power point sobre el proyecto del diseño del BioMEMS por el CFATA, para que sus colegas especialistas la revisaran. Me dio algunos datos interesantes, como que uno de cada tres chinos se sospecha son portadores de la tuberculosis y que el gobierno está apoyando proyectos para la detección de esta enfermedad. Actualmente entre sus productos tienen el "Tuberculosis and Non tuberculous Mycobacteria Real-time Polymerase Chain Reaction Detection Kit". El principio de esta prueba se basa en dos conjuntos de cebadores y sondas para que por medio de la hibridación del ADN se etiquete con dos diferentes colores fluorescentes y se discrimine entre tuberculosis y no tuberculosis. El tiempo que requiere para detectar es de 3 horas. Esta empresa tiene una estrecha relación con Affymetrix que comercializó uno de los primeros biochips³². Se mostró interesada en el desarrollo del CFATA y me pregunto

³² Su "Gene Chip" es un producto que contiene miles de sensores individuales de ADN para su uso en defectos de detección, o polimorfismos de un solo nucleótido (SNP), en los genes como el p53 (un supresor de tumores) y los genes BRCA1 y BRCA2 (relacionado con el cáncer de mama) (Mercado, 2010:6).

que buscaban en específico, le dije que principalmente retroalimentación en el tema de materiales para ahorrar en el manejo de alguna parte del biochip y sugerencias en las técnicas para ser usadas en el proceso de construcción del biochip. Puse en contacto vía correo electrónico a la asistente Chen Ren con el Dr. Víctor Manuel Castaño y respondió que a su empresa les gustaría ofrecer los servicios de asesoramiento para el biochip y su fabricación de acuerdo a los requerimientos. Al respecto ha preguntado qué tipo de colaboración se prefiere una conjunta colaboración de I&D o servicios de OEM (Original Equipment Manufacturer).

Bibliografía

- Academia China de Ciencias. <http://www.cas.ac.cn/>
- Asociación de la Industria de Semiconductores en China. <http://www.csia.net.cn/>
- Frew Sara, Sammut Stephen, DhoreAlysha y otros, 2008. "Chinese health biotech and the billion patient market". NatureBiotechnology, Volumen 6, no. ; Enero 2008.
- Li Ted Y., "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 Véase fuente: www.eclac.cl/.../Cap._2.1._Empresas_y_asociaciones_empresariales
- Lining Sun, 2002. "Review of MEMS Development and the DevelopingStrategy of MEMS in China".Foro en Estados Unidos sobre la Tecnología Nano, año 2002. Véase fuente: <http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=head%20of%20key%20projet%20on%20me ms%20expert%20group%20of%20%20%E2%80%9C863%E2%80%9D%20program%20of%20china%20&source=web&cd=3&ved=0CDQQFjAC&url=http%3A%2F%2F863.kepu.net.cn%2Fenglish%2FForum%2F2.doc&ei=-fTJTq6UFse0iQf4g5nkDw&usg=AFQjCNF-PY8k3I09wsFKZIQNa4zAm4VMyg&cad=rjt>
- MARKET REPORT ON CHINABIOTECHNOLOGY ANDNANOTECHNOLOGY INDUSTRIES. MARKET REPORT 2009. Italian Trade Commission Shanghai Office. Véase fuente: www.ice.gov.it/.../
- Mercado Andrea 2010. "Biochips". Universidad Católica, Facultad de Ciencias Y Tecnología Sede regional Asunción. Ingeniería Informática.
- Ministerio de Ciencia Y Tecnología de la República Popular China. <http://www.most.cn/eng/>
- "Oportunidades en la relación económica y comercial entre China y México. Sección 2 Áreas estratégicas: Análisis y propuestas sectoriales y del sector privado". Véase fuente:http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=secci%C3%B3n%20%20%C3%A1reas%20estrat%C3%A9gicas%3A%20an%C3%A1lisis%20y%20propuestas%20sectoriales%20y%20del%20sector%20privado&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.eclac.cl%2Fmexico%2Fnoticias%2Fnoticias%2F7%2F30107%2FCap._2.1._Empresas_y_asociaciones_empresariales_con_experiencias_bilaterales.pdf&ei=0H_GTp_fE9GiiAfWx6nXDw&usg=AFQjCNEkaVjTXG4H1PpLIBYQrD48dExz1w&cad=rjt

- Research Report on Chinese High Tech Industries. U.S. China Economic and Security Review Commission. Prepared by NSD Bio Group, LLC, January 2009. Véase fuente: www.uscc.gov/researchpapers/2009/Research_Re
- J. Sasserath y. D. Fries, 2002. "Rapid Prototyping and Development of Microfluidic and BioMEMS Devices". Véase fuente: www.intelligentmp.com/.../Rapid%20Prototypin
- Sociedad China de Investigación de Materiales. <http://www.c-mrs.org.cn/>
- Sociedad China de Tecnología Micro/Nano. <http://www.csmnt.org.cn/>
- 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. Véase fuente: http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=stokes%20mark%2C%202009.%20%E2%80%9Cchina%C2%B4s%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=AFQjCNGCBWqIDe_-Y-wt936V1fJEhHGwMw&cad=rjt
- Zhe Li y Xinghua Zhu, 2011. "China's biotechnology industry. Barriers to overcome and opportunities to exploit". Véase fuente: www.techmonitor.net/tm/.../11mar_apr_sf3.pdf